LES DOSSIERS DE SCIENCES ET AVENIR - NUMÉRO SPÉCIAL 221 AVRIL/JUIN 2025 - LA SCIENCE AU MOYEN ÂGE

SCIENCES ET AVENIR
LES DOSSIERS

LES DOSSIERS SCIENCES ET AVENIR

LA SCIENCE AU MOYEN ÂGE

Astronomie • Bestiaires
Médecine • Université • Musique
Alchimie • Notre-Dame
Chiffres arabes • Optique
Hildegarde de Bingen

L 13667 - 221 H - F: 5,90 € - RD

NUMÉRO SPÉCIAL 221 AVRIL/JUIN 2025 - ALLEMAGNE 8.00 € / BELGIQUE : 6.10€ / GRÈCE : 6.20€ / ESPAGNE : 6.20 € / ITALIE : 6.20 € / DOM: 6.20€ / LUXEMBOURG : 6.10 € / PORTUGAL CONT : 6.20 € / TOM S : 860 XPF / TOM AVION : 1600 XPF / SUISSE : 9.80 CHF / TUNISIE : 10 TND / MAROC : 60 MAD / CANADA : 9.49 $CAD

SCIENCE PHOTO LIBRARY / NYPL / SCIENCE SOURCE / SUCRÉSALÉ / GETTY IMAGES

Le magazine des passionnés d'histoire

En kiosque le 27 mars et sur www.lhistoire.fr

Sommaire

BRIDGEMAN IMAGES

Mappemondes, atlas et portulans P. 78

ROLAND AND SABRINA MICHAUD / AKG-IMAGES

Les savants mélanges de la pharmacopée P. 56

ARTOTHEK / LA COLLECTION

Huit inventions qui ont changé le monde P. 60

FINEART/OPALE.PHOTO

Un jour, l'homme volera dans une machine… P. 26

ARCHIVES CHARMET / BRIDGEMAN IMAGES

Le grand voyage des textes savants P. 22

COLLECTION DAGLI ORTI / PINACOTECA NAZIONALE BOLOGNE / AURIMAGES

Étudier, du cloître à l'université P. 18

5 **Édito**

6 RENCONTRE
Nicolas Weill-Parot
« Il faut réfuter l'idée d'une science écrasée par l'Église »

10 REPÈRES
- Mille ans d'histoire en Occident
- Le rayonnement de la science arabe
- En Occident, la fusion des traditions grecques, arabes et chrétiennes

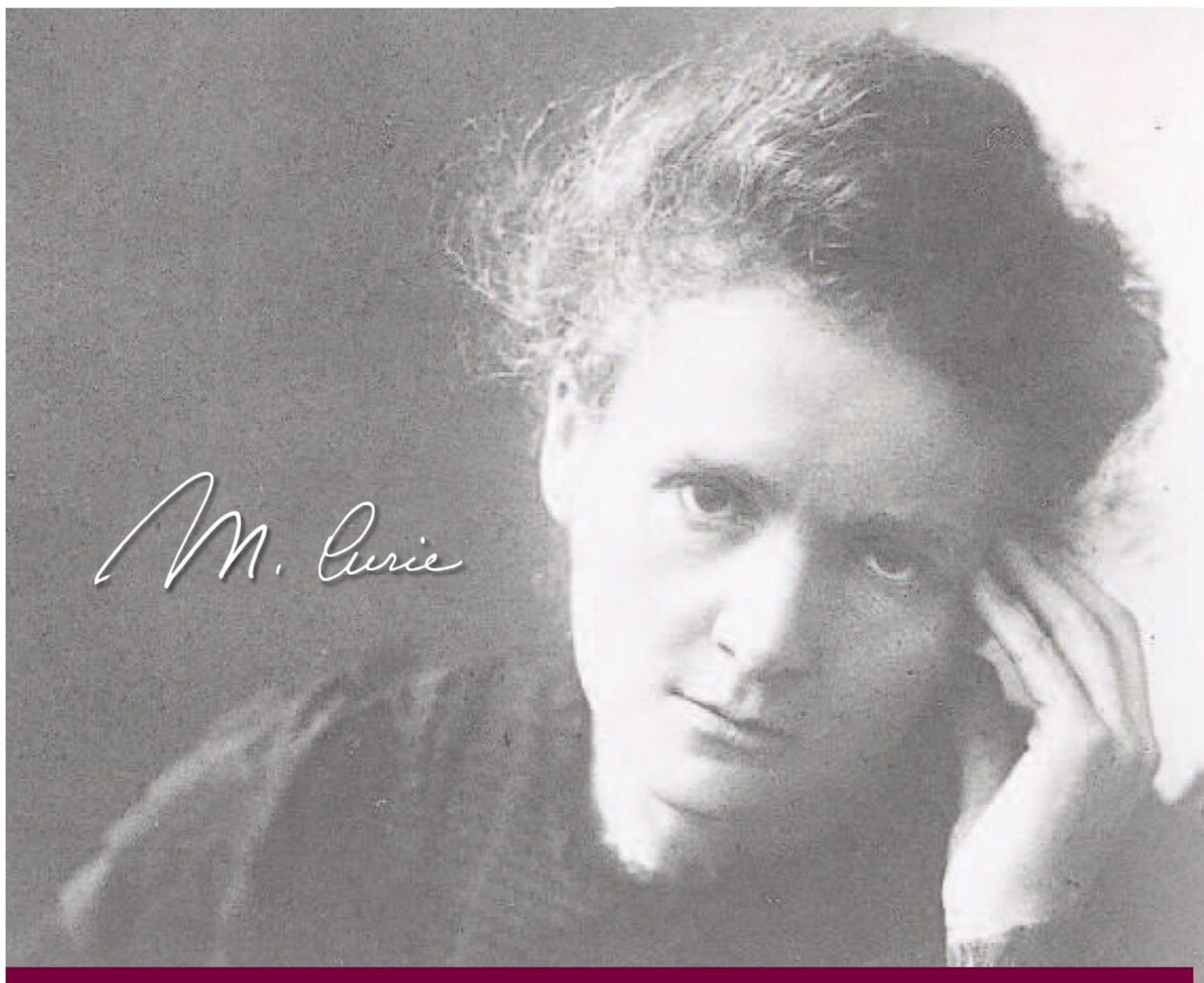
16 LES CHEMINS DE LA SCIENCE
18 Étudier, du cloître à l'université
22 Le grand voyage des textes savants
26 Un jour, l'homme volera dans une machine…
29 **PORTRAIT Roger Bacon**
Un savant à contre-courant

30 ÉTUDIER LA NATURE
32 Au-delà de la physique d'Aristote
35 **PORTRAIT Regiomontanus**
Savoir et faire savoir
36 Les curieuses espèces du bestiaire médiéval
39 Du zéro à l'algèbre, la puissance du calcul indo-arabe
42 En Europe, une astronomie à courte vue
45 **INTERVIEW Julien Véronèse**
« La magie est parfois considérée comme une science »

46 SOIGNER, GUÉRIR
48 Médecine savante, médecine populaire
51 **PORTRAIT Hildegarde de Bingen**
Médecin, musicienne et mystique
52 La maladie, un changement d'humeurs
56 Les savants mélanges de la pharmacopée

60 PORTFOLIO
Huit inventions qui ont changé le monde

66 ENTRE SCIENCES ET ARTS
68 L'alchimie ou la recherche de la perfection
71 La musique se libère par l'écriture
74 Notre-Dame en chantier, du XII^e^ au XXI^e^ siècle
77 Enluminer le verre, tout un savoir-faire
78 Mappemondes, atlas et portulans
82 **INTERVIEW Florian Besson**
« La science est absente des fictions sur le Moyen Âge »



Transmettre l'espoir de vaincre le cancer

Léguez à l'Institut Curie, 1er Centre français de recherche en cancérologie

Transmettre tout ou une partie de ses biens à l'Institut Curie, premier centre français de recherche en cancérologie, est un formidable message d'espoir pour tous ceux qui luttent contre le cancer.

En soutenant les efforts de l'Institut Curie, fondé par Marie Curie, vous effectuez un geste de générosité envers les générations futures, vous donnez aux chercheurs et médecins les moyens de prendre le cancer de vitesse et associez votre nom à ce combat pour la vie.

LEGS - DONATIONS - ASSURANCES-VIE

institut Curie

ENSEMBLE, PRENONS LE CANCER DE VITESSE

curie.fr

Pour tout renseignement contacter Catherine Ricatte - Institut Curie :
26, rue d'Ulm - 75248 Paris Cedex 05 - 01 56 24 55 34 - catherine.ricatte@curie.fr

institut Curie

BULLETIN DE DEMANDE D'INFORMATION à compléter à retourner sous enveloppe à l'adresse ci-dessus.

☐ Je désire recevoir votre documentation sur les legs, donations et assurances-vie en faveur de l'Institut Curie.

☐ Je souhaite être contacté en toute confidentialité par votre responsable legs, donations et assurances-vie.

Vous pouvez me joindre au numéro ci-contre ▶

☐ Mme ☐ M. Nom : .....

Prénom : .....

Adresse : .....

Code postal : |_|_|_|_|_|

Ville : .....

Tél. : |_|_| |_|_| |_|_| |_|_| |_|_|

HSSA0425

LES DOSSIERS
SCIENCES ET AVENIR

NUMÉRO SPÉCIAL
41 bis, avenue Bosquet 75007 Paris
Tél. : 01.55.35.56.01.
redaction@sciencesetavenir.fr

Rédacteur en chef Sciences et Avenir
Mathieu NOWAK 56.38
Rédacteur en chef La Recherche
Philippe PAJOT - 01.70.98.19.29
Rédacteur en chef digital Olivier LASCAR 56.15

Rédaction en chef hors-série Vincent REA 56.35
avec Florence LEROY 56.36
Directrice artistique Thalia STANLEY 56.21
Photo-iconographie Andreina DE BEI
(rédactrice en chef adjointe) 56.31
Isabelle TIRANT 56.32
Documentation Astrid SAINT AUGUSTE 56.48
Collaboratrice Isabelle DO O'GOMES
Ont collaboré à ce numéro :
Grégoire ADER, Jacques-Olivier BARUCH,
Renaud BLANC, Bruno BOURGEOIS,
Laureen BOUYSSOU, Cécile COUMAU, Denis DELBECQ,
Caroline DEPECKER, Marika JULIEN, Sara de LACERDA,
Valérie HANDWEILER, Sylvie LLORET, Sylvie NADIN,
Éliane PATRIARCA, William ROWE-PIRRA,
Vahé TER MINASSIAN, Marie-Laure THÉODULE,
Pierre VANDEGINSTE, Agnès VERNET

Publicité MediaObs 44, rue Notre-Dame-des-Victoires
75002 Paris Tél. : 01.44.88.97.70. Fax : 01.44.88.97.79.
Courriel : l'initiale du prénom puis nom suivi de @
mediaobs.com
Directrice générale Corinne ROUGÉ - 01.44.88.93.70
assistée de Marie-Noëlle MAGGI - 01.44.88.93.70
Directeur de publicité Caroline GILLES - 01.44.88.89.03
Exécution Cédric AUBRY - 01.44.88.89.05
Administration des ventes Catherine FERNANDES
01.44.88.89.20
Directeur commercial Valéry SOURIEAU
Directeur des abonnements Luc BONARDI
Responsable des abonnements Lina QUACH 01.55.35.56.63

Les Éditions Croque Futur
Président, directeur de la publication
Claude PERDRIEL
Directeur général Philippe MENAT
Directeur éditorial Maurice SZAFRAN
Secrétaire général Jean-Claude ROSSIGNOL

Abonnements et anciens numéros : 01.55.56.71.48
45, avenue du Général Leclerc
60643 Chantilly Cedex
abonnements@sciencesetavenir.fr

Les abonnements et réabonnements doivent être adressés à Sciences et Avenir, service Abonnement
45 avenue du Général Leclerc 60643, Chantilly Cedex.
Tél. : 01.55.56.71.48.
Tarif des abonnements : France,
1 an simple (12 numéros) : 35 €.
1 an complet (12 numéros + 4 hors-série) : 48 €.
Tarifs pour les pays étrangers sur demande.
Multimédia : Sciences et Avenir, 41 bis avenue Bosquet, 75007 Paris. Tél : 01.55.35.56.00.
Les noms et adresses de nos abonnés seront communiqués aux organismes liés contractuellement avec Sciences et Avenir, sauf opposition. Dans ce cas, la communication sera limitée au service de l'abonnement.
Copyright Sciences et Avenir.
Commission paritaire n° 0620K79712.
ISSN 2970-7420 Distribué par MLP.

PEFC 10-31-1557 Certifié PEFC Ce produit est issu de forêts gérées durablement et de sources contrôlées. pefc-france.org

Origine du papier : Allemagne
Taux de fibres recyclées : 0%
Eutrophisation : PTot = 0,018 kg/ tonne de papier
Ce magazine est imprimé chez Roto France Impression, certifié PEFC

ACPM DIFFUSION

Édito

AURIMAGES

La passion de la raison

Nous sommes à Paris, vers 1250. La silhouette de Notre-Dame, à peine achevée, s'élève telle que nous la connaissons aujourd'hui, dans ce style gothique qui s'est forgé un siècle auparavant. Dans son chœur résonnent des hymnes inconnus : les musiciens de la cathédrale, tout imprégnés de la certitude que la musique est une science qui révèle l'harmonie du monde, viennent d'y inventer la polyphonie. Sur la colline Sainte-Geneviève, une autre invention capitale vient d'advenir : celle de l'université. Et les étudiants y affluent pour apprendre les nouvelles connaissances…

Quelles images avons-nous de la science du Moyen Âge ? Aucune ! Elle est la grande absente des films, séries ou livres, peu avares pourtant de châteaux, de chevaliers, de violence. D'après les parchemins, on les imagine, ces savants – des hommes, si peu de femmes –, sagement penchés sur un manuscrit, absorbant à grands traits la sagesse des Anciens. Mais ne nous laissons pas abuser par l'aspect naïf de ce monde en miniatures. Cette image convient peut-être au moine, l'intellectuel type des premiers siècles de la période, dont le savoir se bâtit sur la Bible et quelques auteurs romains. Mais à partir du XII^e^ siècle, c'est un tout autre paysage qui s'ouvre, un monde empli des saveurs de la philosophie grecque et des parfums de l'Orient. Car c'est l'époque où l'Occident redécouvre Aristote, le maître absolu de la science pour les siècles à venir – oui : le grand homme de la science médiévale est un Grec du IV^e^ siècle avant notre ère ! – et prend acte des découvertes capitales réalisées par les savants arabes, qui les ont précédés dans cette redécouverte. À l'image de ces cathédrales que l'on souhaite les plus hautes possible pour emplir les fidèles de lumière divine, les hommes du temps veulent se nourrir de la lumière de la raison, pour éclairer et le monde, et leur foi. Il y a même alors un moment rationaliste, nous dit l'historien Nicolas Weill-Parot : les savants pensent, par la raison, pouvoir tout expliquer.

Dans ce numéro, nous avons souhaité nous couler dans l'esprit d'un savant médiéval, avide de toutes les connaissances de son temps : biologie, physique, astronomie, alchimie, et même magie… Sa pratique de la science nous semble étrange. Il ne réalise pas d'expériences, ignore les mesures, semble se complaire dans une science de parchemin tirée des Anciens… Car penser, alors, c'est lire.

Mais surtout parler ! À l'infini, maîtres et étudiants dissèquent le moindre problème, exposent leurs arguments logiques. Un échange incessant qui peu à peu met en place les prémisses de la science moderne. Et ne se limite pas aux murs de la ville. De part et d'autre de la Méditerranée, juifs, musulmans ou chrétiens échangent, unis par la passion d'une science féconde et ouverte, universelle. Gageons qu'aujourd'hui où la science est attaquée de toute part, il s'en trouvera certains pour assener le poncif : « Il faut défendre la science, quand même, on n'est pas au Moyen Âge ! » On pourra leur rétorquer que partir sur les traces de la science médiévale, c'est revenir à une période d'intense confiance en l'humain, en la vie et en la raison. Ne serait-ce que pour cette raison – mais il y en a tant d'autres ! – l'étudier est une nécessité.

FLORENCE LEROY

NICOLAS WEILL-PAROT

Médiéviste, historien des sciences

« Il faut réfuter l'idée d'une science écrasée par l'Église »

Concilier foi et raison, Dieu et Aristote, c'est la tâche que se donnent les savants du Moyen Âge, hommes d'Église pour la plupart. Un cadre contraint, mais qui laisse à la raison la possibilité de se déployer jusqu'à ses plus extrêmes limites.

Peut-on vraiment parler de science médiévale ?
Oui ! Il y a bien une volonté d'expliquer rationnellement le monde naturel. En s'appuyant, cependant, non pas sur l'expérimentation, comme le fait la science moderne, mais sur une exigence de cohérence interne, une cohérence donnée par l'aristotélisme – la doctrine tirée des œuvres de philosophie naturelle d'Aristote, redécouverte en Occident à partir du XII^e^ siècle. Mais le problème posé à l'historien, c'est qu'il est sommé de dire en quoi la science médiévale a contribué à l'histoire des sciences. Il faut alors éviter deux écueils : celui du « précursoritisme », c'est-à-dire vouloir à tout prix trouver des précurseurs dans la période médiévale, autrement dit essayer de piocher ce qui est compatible avec la science moderne, parce qu'alors on introduit des biais ; et le relativisme, l'idée que la science médiévale a autant de valeur que la science moderne. Non. Un astronome du XIV^e^ siècle est moins dans le vrai que Copernic ou Newton. Il y a un progrès de la science.

Il est vrai que le Moyen Âge est une période longue, dix siècles… qui a mal commencé pour la science, non ?
Effectivement, au début de cette période, la science a connu une récession. Car dans l'Antiquité, elle s'écrit en langue grecque. Le monde latin ne produit pas de textes scientifiques de haut niveau, mais des compilations, des encyclopédies. Très bonnes d'ailleurs, mais qui ne reflètent pas le dernier état des connaissances. Or, que se passe-t-il lorsque l'Empire romain d'Occident s'effondre ? Le monde latin se retrouve largement coupé du monde grec, l'élite, peu à peu, ne comprend plus que le latin – et ne peut donc plus lire que les compilations. Par ailleurs, le centre de gravité se déplace au nord et à l'est, dans des régions où il n'y avait pas originellement ces manuscrits. Pas de manuscrits, personne pour les lire, les copier, les interpréter… Malgré cela, il y aura quand même quelques grandes contributions dans le haut Moyen Âge. L'Anglo-Saxon Bède le Vénérable (v. 672–735), par exemple, a fait des choses tout à fait étonnantes dans l'observation des marées.
La situation est totalement différente au sud et à l'est de la Méditerranée, puisqu'il y a là des communautés grecques qui ont recueilli l'héritage antique. Quand l'Islam met la main sur une partie de ces territoires, *de facto,* il y a des gens capables de traduire les textes. Et il se trouve que le calife s'intéresse de très près à la science grecque et ordonne des traductions, de manière systématique. Avec bien sûr, par la suite, toute une tradition scientifique en arabe. Et les idées qui circulent connaissent aussi des influences persanes, indiennes… Les chiffres indo-arabes sont en réalité indiens!

> **« Le grand tournant, c'est le XII^e^ siècle, une période d'effervescence où des savants de toute l'Europe partent quérir le savoir des Grecs et des Arabes**

NICOLAS WEILL-PAROT

Titulaire de la chaire «Histoire des sciences dans l'Occident médiéval» à l'École pratique des hautes études (EPHE) à Paris, il est membre junior de l'Institut universitaire de France. Ses recherches portent sur la rationalité scientifique et la magie au Moyen Âge.

Le vol dans les airs au Moyen Âge. Essai historique sur une utopie scientifique, Les Belles Lettres, 2020

Le Vrai Visage du Moyen Âge, au-delà des idées reçues (dir., avec Véronique Sales), Vendémiaire, 2017

Science et technique au Moyen Âge (dir. avec Joël Chandelier et Catherine Verna), Presses universitaires de Vincennes, 2017

Comment cette science s'est-elle retrouvée en Occident ?
Les premières infiltrations, ce sont justement les chiffres – les premiers témoignages remontent à la fin du Xe siècle – et l'astrolabe, un instrument qui permet de faire des calculs. Le deuxième temps, peut-être, c'est la fin du XIe siècle, avec l'arrivée en Italie du Sud de Constantin l'Africain, sans doute un médecin chrétien de Kairouan, qui apporte dans ses bagages des traités médicaux galéniques (dans la tradition du médecin du IIe siècle Galien).
Et évidemment, le grand tournant, c'est le XIIe siècle, une période d'effervescence et de recherche où des savants de toute l'Europe partent quérir le savoir des Grecs et des Arabes. On traduit donc, du grec directement et de l'arabe, non seulement des traités originellement grecs, mais aussi des traités arabes – précisons toujours que « arabe » ne signifie pas forcément musulman. Par ces traductions, on se réapproprie toute une partie du corpus d'Aristote. Mais on prend connaissance aussi de ses commentateurs en arabe, Avicenne, ou Averroès, que les auteurs latins appelleront le *Commentator*, avec un C majuscule. Ils savent très bien que c'est un païen, un ennemi religieux, mais ce qui les intéresse, c'est l'universalité du savoir.

La science va vraiment prendre son essor au XIIIe siècle ?
Il se passe alors deux choses capitales : du point de vue intellectuel, c'est l'assimilation de l'aristotélisme. Se développe ainsi ce savoir d'école – ce qu'on appelle la scolastique –, fondé sur l'examen des arguments que l'on oppose pour parvenir à une explication rationnelle des choses. Et du point de vue institutionnel, c'est l'invention de l'Université. La meilleure définition en a été donnée par l'historien Jacques Verger : c'est à la fois un *studium* – un centre d'étude – et une *universitas*, l'organisation corporative qui assure ◆◆◆

◆◆◆ le fonctionnement de ce *studium* ainsi que sa représentation et son autonomie. En l'occurrence, l'Université de Paris est directement sous la protection du pape, et échappe donc aux pouvoirs locaux. C'est fondamental : il se crée alors un milieu scientifique. Selon l'historienne Danielle Jacquart, c'est peut-être là l'une des causes du décollage de la science moderne. Le monde arabe a connu de brillants scientifiques, notamment des astronomes. Mais lorsque dans une cour, tel individu fait des découvertes, il suffit que le régime soit renversé… et tout cela disparaît. Alors qu'en Occident, ce milieu scientifique, c'est une sorte d'orchestre continu. Une institution qui va permettre de prendre l'habitude d'interroger la nature par la raison.

Ce retour à Aristote, il se fait comment ?

Non sans heurts au départ ! Il y a eu plusieurs séries d'interdictions ecclésiastiques (1210, 1215, 1231) portant sur l'enseignement parisien. Mais, dès les années 1240-1250, à l'Université de Paris, on enseigne tout Aristote. Quelques années plus tard, en 1277, l'évêque de Paris Étienne Tempier convoque une commission de théologiens qui condamnent 219 thèses philosophiques. Est-ce que c'est l'aristotélisme qui est condamné ? Non. Le sens de ces condamnations, c'est de proclamer que Dieu n'est pas prisonnier d'Aristote. Autrement dit, l'ordre du monde est correctement décrit par Aristote. Mais à tout moment, Dieu peut faire usage de sa toute-puissance pour le changer. Il peut par exemple faire que le vide existe dans la nature, alors qu'Aristote dit que le vide n'existe pas. Mais pas que deux et deux fassent cinq.

> **« Entre 1250 et 1320, en Occident, il y a une volonté d'expliquer à tout prix le monde naturel par la raison**

Ces condamnations n'ont donc pas empêché la science de se déployer ?

Certains historiens (Pierre Duhem, Edward Grant) soulignaient le caractère positif de ces condamnations dans le progrès de la science. Car si Dieu peut à tout moment changer l'ordre du monde, les physiciens se trouvent autorisés à dire : « Et si Dieu faisait que le vide existe, qu'est-ce qui se passerait ? » Il y a donc une physique possible à partir d'hypothèses, dont l'une est l'hypothèse *secundum imaginationem* – selon l'imagination. Depuis, les historiens ont montré que le rôle de la logique est peut-être plus important que les condamnations de 1277 dans l'émergence d'une nouvelle physique au XIVe siècle.

En tout cas, l'idée qu'il faut absolument réfuter, c'est celle d'une science écrasée par l'Église. Certes, il y a des points de tension, mais la seconde n'est pas du tout hostile à la première. On parle du poids de l'autorité. Oui, bien sûr. Mais on joue d'une autorité contre une autre, dont on peut volontairement déformer le sens des propos. La scolastique est un jeu très subtil. On se moque d'elle, voyez l'ironie d'auteurs comme Molière. Mais c'est ignorer le fait qu'opposer les arguments pour ou contre, approfondir, etc., c'est faire le tour d'une question avant d'arriver à la conclusion… qui dans certains cas est connue d'avance.

Quelle est la place de la raison au Moyen Âge ?

Je me suis permis d'émettre l'hypothèse qu'entre 1250 et 1320, on a vraiment un moment rationaliste en Occident. Il y a une volonté d'expliquer à tout prix le monde naturel par des causes naturelles et par la raison. Ce rationalisme est illustré par un homme de savoir comme le dominicain Albert le Grand (v. 1200–1280), qui pense qu'il peut dire la totalité du monde grâce à l'aristotélisme. C'est tellement vrai qu'à un moment donné, quand il constate qu'on n'a plus le livre qu'Aristote est censé avoir écrit sur les pierres, il l'écrit, en quelque sorte, à sa place… Même pour des réalités théologiques, on va le plus loin possible avec la science. En tout dernier ressort, on fait intervenir le miracle. Mais on est en très économe…

Par contraste, le rationalisme d'un autre grand savant, le franciscain Roger Bacon, est tout différent (et minoritaire). Son modèle, à lui, c'est celui du secret : il y a des secrets de la nature et de l'art, indéfinis, à découvrir, ou plutôt redécouvrir car ils ont été oubliés. Et le savoir progresse, un savoir beaucoup plus inquiet, parce qu'il est ouvert.

Quelles autres grandes figures peut-on évoquer ?

En mathématiques, on peut citer Jordanus de Nemore, au XIIIe siècle, qui a systématisé l'emploi des lettres à la place des chiffres, et réalisé des travaux de statique extrêmement importants. Et Leonardo Fibonacci, qui a développé tous les domaines de la discipline.

Et puis, il y a aussi en Angleterre, au début du XIVe siècle, ce qu'on appelle les *Calculatores* d'Oxford, notamment Thomas Bradwardine. Avec eux se produit un changement majeur : ils appliquent les mathématiques à l'étude des phénomènes physiques. En France, à la même époque, on peut noter Nicole Oresme et Jean Buridan. Les travaux de ce dernier sur l'*impetus* en disent d'ailleurs long sur les rapports entre théologie et science.

L'*impetus* ? Qu'est-ce que c'est ?
Pour Aristote, tout ce qui est mû doit être en contact avec ce qui le meut. Mais il se rend bien compte que sa théorie ne fonctionne pas pour les projectiles. Il suppose donc que l'air prend le relais de la main. Dans une première hypothèse, la main qui jette la pierre met en branle une première portion d'air, lui donne la capacité de porter l'objet, de le faire avancer, et de transmettre cette capacité à la portion d'air voisine. Deuxième explication possible (qu'il rejette pour finir) : l'objet avance, chasse l'air qui est devant lui et qui revient derrière lui le pousser. Mais au temps de Buridan existe une autre théorie. Elle veut que l'action initiale effectuée sur la pierre lui communique ce qu'on appelle un *impetus*, un élan, qui entretient le mouvement avant qu'il ne perde peu à peu de sa force. Il y a donc là l'idée d'une force laissée dans la pierre. Or, au début du XIV^e^ siècle, un auteur franciscain développe très précisément l'idée de *virtus* ou de *vis derelicta* – *virtus*, le pouvoir et *vis*, la force – laissée dans la chose, dans une question portant sur les sacrements. Buridan va introduire cette notion dans son commentaire sur la *Physique* d'Aristote. Il continue à dire que la force est bien présente, en contact : mais c'est une force, ce n'est plus une chose. Cette nouvelle physique prétend réinterpréter Aristote. En fait, elle le déforme de tous les côtés.

Vous disiez que la science moderne repose sur l'expérimentation. Il n'y en a pas au Moyen Âge ?
Si, par exemple, Pierre de Maricourt fait des expériences contrôlées avec des morceaux d'aimant. Il montre ainsi avec une bonne approximation que l'aiguille magnétique pointe vers le pôle céleste. Autre exemple, celui de Dietrich de Freiberg qui réalise un dispositif expérimental pour l'arc-en-ciel en modélisant des gouttes d'eau avec des petits flacons remplis d'eau. N'est-ce qu'une expérience de pensée ? En tout cas, le dispositif est là.
Mais ce sont là des auteurs « moderno-compatibles », peu caractéristiques de la période. En général, quand on parle d'expérience dans la scolastique, c'est l'expérience sensible selon Aristote : on fait l'expérience d'une chose, on réitère l'expérience, ce qui crée la mémoire, et de là on crée la connaissance. C'est un processus.

> **« La nouvelle physique du XIV^e^ siècle prétend réinterpréter Aristote… En réalité, elle le déforme de tous les côtés**

Qui dit Moyen Âge, évoque forcément la magie…
Il y a une réflexion des hommes de science sur cette question. Tout ce qu'on peut expliquer naturellement, on le fait. L'explication par le démon, c'est le démon *ex machina* ! Sachant d'ailleurs que le pouvoir d'opérer des miracles étant réservé à Dieu, il ne peut faire que ce que fait l'homme, mais plus rapidement, et mieux. Il est plus malin… La magie est donc une illusion. Prenez l'exemple de la figurine d'envoûtement. Vous faites la figure de votre ennemi, vous invoquez des démons par des incantations, et vous pensez que votre image, tout d'un coup, s'imprègne du pouvoir d'aller à distance frapper votre ennemi. Mais cela, c'est votre croyance, celle d'un magicien. Le théologien, lui, dit : cette image n'a rien en elle-même. Elle est juste un signe, celui d'un culte au démon. Lequel démon, pour perdre votre âme, va exécuter votre dessein, et aller, avec ses petites pattes, frapper directement l'ennemi. Mais il le fait avec la permission de Dieu. Ce qui se joue – outre ce que subit la pauvre victime –, c'est en réalité le salut du magicien !

Tout compte fait, la science médiévale est très riche !
Oui, et c'est pourquoi il faut l'étudier. D'abord parce qu'elle amène à se défaire de ses points de vue. Et parce que ces réflexions scientifiques ont un intérêt intrinsèque. Mais aussi parce que si l'on n'étudie pas les manuscrits, ils disparaissent, au fil des siècles. Ce que je fais n'a pas d'utilité immédiate. Mais c'est la connaissance en elle-même qui est importante. Il faut faire attention : beaucoup de choses se perdent…

PROPOS RECUEILLIS PAR FLORENCE LEROY ET VINCENT REA
PHOTOS : BERNARD MARTINEZ POUR SCIENCES ET AVENIR

Pages réalisées par Florence Leroy

Mille ans d'histoire en Occident

Les bouleversements politiques et culturels n'ont pas manqué tout au long du millénaire médiéval. Bref tableau des cadres sociaux dans lesquels les savants ont inscrit leurs travaux.

AURIMAGES

Qu'est-ce que le Moyen Âge ?

Si le poète italien humaniste Pétrarque (1304-1374) utilise pour la première fois le terme pour dénigrer son époque qu'il juge « moyenne », le terme commence à recevoir son acception actuelle au XV^e siècle, pour désigner une période révolue, plaçant ainsi la période contemporaine du côté de la modernité. Deux dates sont en général données comme bornes : 476, la chute de l'Empire romain d'Occident, et 1492, la « découverte » de l'Amérique et la chute du royaume de Grenade. Mais l'histoire longue ne se laisse pas enfermer dans des dates : les évolutions culturelles, économiques voire politiques les débordent largement.

La Grande Peste

Les mille ans qui composent le Moyen Âge ont connu deux inflexions démographiques majeures. Entre l'an mil et 1300, un lent accroissement naturel favorisé par un climat doux, la multiplication des échanges et une croissance de la production agricole ; et un déclin abrupt au XIV^e siècle, dû à la Grande Peste qui sévit en Europe de 1347 à 1353. Elle aurait fait 25 millions de victimes, soit entre le tiers et les deux tiers de la population. Il y aurait eu aux alentours de 1300 environ 20 millions d'habitants en France, entre 75 et 100 millions en Europe.

AURIMAGES

Médecin perçant un bubon causé par la peste. Fresque de la chapelle Saint-Sébastien, Lanslevillard, XIV^e siècle.

Femmes de science

Il reste peu de traces des femmes savantes du Moyen Âge. Aucune n'a eu accès à l'Université, réservée aux clercs, et donc à la recherche la plus novatrice. L'institution a ainsi joué un rôle d'exclusion des femmes de la science. Mais certaines, de par leur origine aristocratique en particulier, ont vécu dans un environnement lettré. Il y a eu des femmes avides de sciences, comme Trotula de Salerne, médecin, ou la philosophe et poétesse Christine de Pizan. Le couvent pouvait également être un lieu privilégié d'études, comme pour Hildegarde de Bingen, musicienne, médecin, astrologue ; ou Héloïse, devenue abbesse après la castration de son mari Pierre Abélard. Et nombre d'autres dont le nom ne nous est pas parvenu.

SCIENCE PHOTO LIBRARY / AKG-IMAGES

Christine de Pizan

476

Chute de l'Empire romain d'Occident. À l'est de la Méditerranée, l'Empire byzantin subsiste, avec pour capitale Constantinople.

Vers 540 – 547

Benoît de Nursie établit la règle bénédictine en Italie. L'abbaye bénédictine de Cluny, qui deviendra jusqu'au XII^e siècle l'une des principales forces religieuses et un centre d'études majeur, sera fondée en 910.

©AME/OPALE.PHOTO

Benoît de Nursie

800

Couronnement de Charlemagne. « Renaissance » des arts, des lettres et de l'enseignement.

962

Fondation du Saint-Empire romain germanique par Otton I^er qui entend restaurer l'empire des Carolingiens. Il regroupe au cœur de l'Europe une multitude d'entités politiques, et ne sera dissous qu'en 1806.

1030

Début de l'expansion normande en Italie du Sud, qui aboutit à la fondation du royaume normand de Sicile (1130-1198), prospère et cosmopolite.

1054

Schisme d'Orient. Les chrétiens d'Orient et d'Occident ne reconnaissent plus la même autorité : le patriarche de Constantinople pour les premiers, le pape pour les seconds.

1066

Bataille de Hastings. Victoire de Guillaume le Conquérant sur Harold I^er, dernier roi saxon d'Angleterre. Conquête normande.

1073-1085

Pontificat de Grégoire VII qui entreprend une réforme – dite « grégorienne » – de l'Église afin de mieux encadrer la société.

1095

Première croisade, à l'appel du pape Urbain II, afin de chasser les « infidèles » qui occupent la « Terre sainte ». Les croisés prennent Jérusalem (1099). Ils se maintiendront en Palestine jusqu'en 1291.

AURIMAGES

Prise de Jérusalem

1144

Consécration de la basilique de Saint-Denis, première église du *francigenum opus,* ou art gothique. Vingt ans plus tard, en 1163, débute la construction de Notre-Dame de Paris.

Martin Aurell, *Dix idées reçues sur le Moyen Âge*, Flammarion, 2023

Nicolas Weill-Parot et Véronique Sales (dir.), *Le Vrai Visage du Moyen Âge,* Vendémiaire, 2017

Joël Chandelier (dir.), *L'Occident médiéval*, Belin, 2021

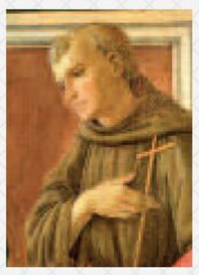
David Aubin et Nestor Harran (dir.), *Chronologie de l'histoire des sciences*, Bescherelle, Hatier, 2019

Dagobert visitant le chantier de Saint-Denis. Le roi mérovingien n'a bien sûr pas pu assister à cette construction, mais cette image asseoit son autorité sur la basilique. ***Grandes Chroniques de France,*** **enluminure de Robinet Testard, XVe siècle**

◆ L'Église au cœur de la société

La religion chrétienne fournit le cadre et le ciment de l'époque médiévale. Tout au long de la période, une lutte pour la suprématie oppose pouvoirs temporels et spirituels. Un tournant majeur se produit avec la réforme grégorienne – du nom du pape Grégoire VII (1073-1085) – qui entend rétablir la discipline et corriger les mœurs des clercs, et se déroule sur plusieurs siècles. Elle vise à imposer l'indépendance des religieux, les laïcs n'ayant plus, par exemple, le pouvoir de nommer les évêques ; à une réforme des mœurs du clergé, notamment à travers le célibat des prêtres; à affirmer le rôle du pape comme seule autorité souveraine; et, plus généralement, à prendre le contrôle de la société. Une distinction nette s'opère entre clercs et laïcs, jugés inférieurs. Cette réforme aura des conséquences culturelles essentielles.

Au XIIe siècle, parallèlement à l'expansion des villes, se produit un autre événement majeur : la création par François d'Assise et Dominique d'un nouveau type d'ordres religieux, les ordres mendiants, dont la spiritualité et le style de vie, d'une pauvreté austère, diffèrent à la fois de ceux des moines bénédictins et du clergé séculier. Ils s'investiront notamment dans la prédication et dans l'étude. Nombre de scientifiques et philosophes de premier plan de la période seront membres des ordres mendiants. Le dominicain Thomas d'Aquin cherche ainsi à mettre la raison au service de l'intelligence de la foi, et revendique l'autonomie du savoir : « *En matière de foi et de mœurs, il faut croire saint Augustin plus que les philosophes. Mais s'il s'agit de la nature des choses, c'est à Aristote que je m'adresse ou à quelque autre expert en la matière.* » Sa *Somme théologique* est aussi une encyclopédie du savoir de son temps.



©AME/OPALE.PHOTO

1130-1180
Chrétien de Troyes développe en français la légende arthurienne, avec des romans de chevalerie et d'amour courtois.

1182-1226
François d'Assise, religieux prêchant la pauvreté, mystique et fondateur de l'ordre des franciscains.

1204
Siège et sac de Constantinople par les croisés financés et appuyés par Venise. Création de l'Empire latin d'Orient (1204-1261).

1225-1274
Thomas d'Aquin, dominicain, maître de la scolastique.

1252
Règne d'Alphonse le Sage (1221-1284), roi de Castille et de Leon.

1309-1375
Les papes quittent Rome, dont ils redoutent l'instabilité politique, et s'installent en Avignon qui devient la capitale du monde chrétien.

1337-1453
Guerre de Cent Ans, ponctuée de trêves plus ou moins longues, entre les royaumes de France et d'Angleterre.

BRIDGEMAN IMAGES

1347-1353
L'Épidémie de peste noire, originaire d'Asie centrale, se propage dans toute l'Europe, où elle aurait fait environ 25 millions de victimes, soit un tiers de la population.

1453
Prise de Constantinople par les Ottomans. Chute de l'Empire romain d'Orient.

1450
Invention de l'imprimerie à Mayence. Gutenberg utilise des caractères mobiles et une presse inspirée de celles utilisées pour le raisin.

BNF

1492
Prise de Grenade par les Rois catholiques (janvier); Christophe Colomb débarque aux Bahamas (octobre).

Le rayonnement de la science arabe

Tandis qu'en Occident, au début du Moyen Âge, la culture stagne, le monde musulman vit un bouillonnement intellectuel intense. C'est dans cette aire culturelle que se trouvent les plus grands savants du temps.

◆ Le monde musulman

Après la chute de l'Empire romain d'Occident, la culture antique de langue grecque n'est plus comprise que dans l'Empire byzantin, notamment à Alexandrie qui en est la capitale intellectuelle, et la Perse, des zones bientôt conquises par l'Islam. Celui-ci en recueillera l'héritage notamment scientifique. Aristote forme le cadre de la science arabe, par ses ouvrages, notamment de cosmologie ou de physique, mais aussi par sa théorie de la science et son organisation. Ses travaux sur les animaux seront exploités dans le cadre de la zoologie, ainsi que de la médecine (notamment en ce qui concerne l'anatomie et la physiologie). Mais la science arabe se bâtira aussi, pour le soubassement grec, à partir de l'œuvre de Ptolémée (L'*Almageste*), Euclide (*Les Éléments*), ainsi qu'Hippocrate et Galien pour la médecine, et recueillera des éléments perses, indiens, chinois. Les savants ne se contentent pas de recopier les textes : ils les critiquent et les approfondissent, dans le but notamment d'en tirer des réalisations utiles dans la vie quotidienne. Les sciences profanes sont intitulées sciences des Anciens, pour les distinguer des sciences musulmanes (exégèse, grammaire et droit). De la profusion des ouvrages rédigés pendant l'âge d'or de la science arabe, du IXe au XVe siècle, seuls de rares ouvrages postérieurs au XIIe siècle seront transmis en Occident.

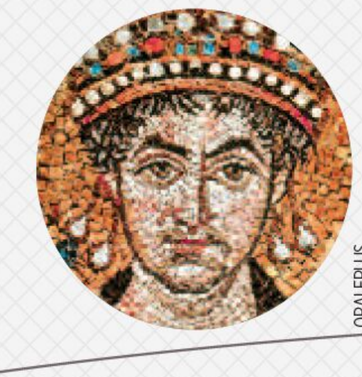
◆ Califes mécènes

Au IXe siècle, deux califes, portés par un intérêt personnel pour les sciences mais aussi un désir de rivaliser avec l'Empire byzantin et d'affirmer le prestige du califat, s'engagent dans une intense activité de soutien des sciences, surtout par le biais de traductions en arabe des textes grecs. Le premier, Harun al-Rachid, initie à Bagdad la Maison de la sagesse (*Bayt al-Hikma*), bibliothèque à l'usage de la cour, et institue le premier hôpital musulman. Sous le règne du second, al-Mamun, la Maison de la sagesse, dirigée par le chrétien Hunayn ibn Ishaq, devient un grand centre de traductions et de rencontres entre savants, surtout mathématiciens et astronomes. Al-Mamun fait également construire le premier observatoire astronomique permanent du monde, et commandite des expéditions destinées à mesurer un degré de méridien pour calculer le diamètre de la Terre. Par la suite, d'autres notables se feront eux aussi mécènes scientifiques.

◆ L'arabe, langue de culture

Langue de Bédouins, puis langue religieuse, l'arabe ne deviendra véhicule de culture qu'au IXe siècle. Auparavant, il aura fallu qu'il devienne langue administrative et soit enrichi grâce au travail de nombreux lexicographes et grammairiens. Une fois établi comme langue de la science, il jouera un rôle de liant entre tous les savants du vaste espace islamique, malgré les divisions et rivalités politiques. À partir des Xe et XIe siècles, le persan s'affirmera également.

529
L'empereur Justinien ferme l'école néoplatonicienne d'Athènes. De nombreux savants s'exilent en Perse.


OPALEPLUS

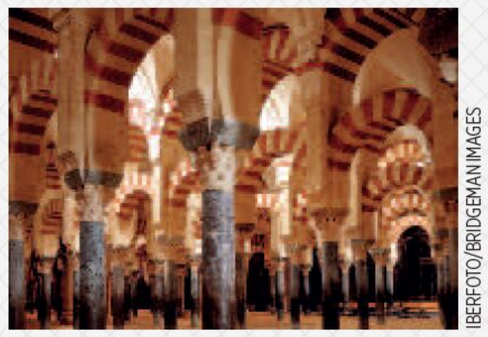
VIIe–VIIIe siècles
Né en Arabie, l'Islam s'étend rapidement sur une large zone autour de la Méditerranée ainsi que sur le Proche-Orient, régions de cultures anciennes.

661-750
Califat omeyyade, dont les frontières s'étendent de l'Indus à la péninsule Ibérique. S'y développe une brillante civilisation : dôme du Rocher à Jérusalem, grande mosquée de Damas, la capitale.

750 -1258
Les Abbassides chassent du pouvoir les Omeyyades. La capitale est transférée à Bagdad.

BNF
La Maison de la sagesse de Bagdad.

756
Fondation de la dynastie omeyyade d'Espagne, à Cordoue, d'abord sous forme d'émirat. En 929, l'émir Abd al-Rahman III prendra le titre de calife, affirmant ainsi son indépendance.

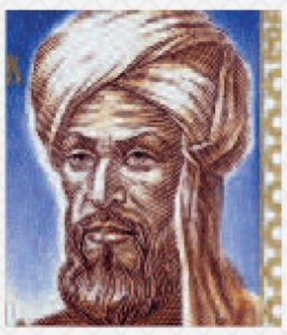

IBERFOTO/BRIDGEMAN IMAGES
La mosquée-cathédrale de Cordoue, dont la construction a débuté en 786.

786-809
Règne du calife Harun al-Rachid. Création de la Maison de la sagesse, *Bayt al-Hikma*, et du premier hôpital du monde musulman.

L'héritage grec, notamment celui d'Aristote, est au cœur de la recherche scientifique arabe au Moyen Âge, comme le montre ce dessin le représentant enseignant. Illustration du *Kitab Mukhtar al-Hikam wa-Mahasin al-Kilam* d'Al-Mubashir, Turquie, XIIIe siècle.

BRIDGEMAN IMAGES

AL-KHWARIZMI
800-850



INTERFOTO/AURIMAGES

Al-Khwarizmi, né au Khwarezem (actuel Ouzbékistan), astronome, géographe, introduit à Bagdad le calcul indien : la numération décimale de position, avec les neuf chiffres et le zéro représentés par des signes graphiques. Les opérations arithmétiques en sont facilitées. En 833, notamment dans l'optique pratique de faciliter les échanges commerciaux, les héritages ou l'arpentage, il rédige un *Abrégé de calcul par la restauration et la comparaison,* qui porte sur le calcul avec inconnues. Le mot *restauration* (*al-jabr* en arabe) fait allusion à la transposition des termes réalisée entre les deux parties d'une équation. Car son travail porte notamment sur les équations des premier et second degrés, pour lesquelles il élabore une méthode de résolution : il établit un algorithme de résolution pour six catégories d'équations. Le travail de ce fondateur de l'algèbre sera diffusé en Occident grâce principalement à Leonardo Fibonacci, et son nom restera dans le terme *algorithme*.

AVICENNE
980-1037

AKG-IMAGES

Ibn Sina, connu sous le nom d'Avicenne en Occident, né près de Boukhara (actuel Ouzbékistan) en 980, et mort en Iran en 1037, a connu une vie itinérante, passant d'une cour à une autre. Il a rédigé, en persan et en arabe, une œuvre considérable – entre deux cents et quatre cents titres selon les chercheurs – dans toutes les disciplines, astronomie, alchimie, philosophie (*Livre de la guérison de l'âme*) et même poésie. Mais c'est surtout pour ses travaux en médecine qu'il est resté célèbre : son *Canon de la médecine*, dans lequel il synthétise la logique d'Aristote avec les connaissances médicales de son temps, constituera le fondement de la médecine jusqu'au XVIe siècle. Il fait ainsi de la médecine une véritable discipline intellectuelle.

Six grands savants

◆ **AL-KINDI** *(801-873)*
a cherché à synthétiser et évaluer l'ensemble des savoirs de son temps (il aurait rédigé 260 livres), en unissant la science grecque et la pensée religieuse musulmane.

◆ **THABIT IBN QURRA** *(824-901)*
Mathématicien, médecin, il est surtout musicien et astronome. À Bagdad, il est proche des Bani Musa, trois frères qui s'illustrent en mathématiques, astronomie et mécanique. C'est un traducteur majeur des textes mathématiques et astronomiques grecs : Euclide, Ptolémée, Archimède.

◆ **AL-BATTANI** *(vers 858 – vers 929)*
est avant tout astronome. Les nombreuses observations précises qu'il effectue à Raqqa (Syrie) lui permettent de corriger des erreurs de Ptolémée. Il calcule notamment la durée de l'année solaire et des saisons, et élabore des formules trigonométriques encore utilisées aujourd'hui.

◆ **AL-RAZI, connu aussi sous le nom de RHAZES** *(865–925 ou 935)*, est principalement un médecin, mais il a aussi étudié l'alchimie et la philosophie.

◆ **IBN AL-HAYTHAM (ALHAZEN)** *(965-1040)*
Surnommé le second Ptolémée, il est surtout connu, à côté de travaux en mathématiques et astronomie – Il étudie un projet de contrôle des eaux du Nil – pour ses travaux d'optique. Il établit les lois de la réflexion, et démontre que la lumière se propage de manière rectiligne. Il est l'un des premiers à énoncer les étapes de la démarche expérimentale pour vérifier les théories.

◆ **AL-BIRUNI** *(973-1050)*
D'un voyage en Inde, il rapporte une encyclopédie achevée en 1030 qui relate ses découvertes, et dans laquelle il se livre à une étude comparée des religions. Il rédige de nombreux ouvrages de minéralogie, sur la pharmacopée et surtout l'astronomie. Pour lui, seul le langage mathématique peut être parfaitement précis et objectif.

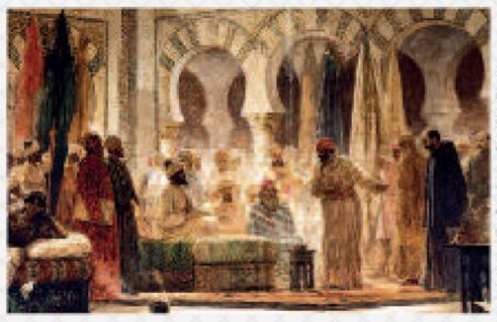
793
Arrivée du papier à Bagdad. Cette innovation facilitera la transmission des textes et des idées.

BRIDGEMEAN IMAGES

La population prête allégeance au nouveau calife Al-Mamun.

813-833
Règne du calife Al-Mamun, qui mène une politique culturelle et religieuse très active afin d'affirmer le pouvoir du califat.

902
Achèvement de la conquête de la Sicile par les Arabes, après presque un siècle de guerre contre l'Empire byzantin (827). La Sicile restera mulsulmane jusqu'à sa conquête par les Normands.



AKG-IMAGES/ALBUM/KURWENAL

La cour d'Abd-al-Rahman III, calife de Cordoue. Dionisio Baixeras Verdaguer, 1885.

Xe siècle
Sous le règne d'Abd al-Rahman III, apogée d'Al-Andalus, territoires de la péninsule Ibérique sous domination arabe. S'y rencontrent des savants musulmans et juifs qui étudient les sciences, notamment l'agnonomie, les arts et la philosophie.

En Occident, la fusion des traditions grecques, arabes et chrétiennes

À partir du XIIIe siècle, c'est la haute figure d'Aristote qui va dominer la science, et pour des siècles. Ses écrits de « philosophie naturelle » et sa conception de la pratique scientifique feront loi.

◆ L'aristotélisme

Ce terme désigne la doctrine dérivée des œuvres du philosophe grec (384 – 322 avant notre ère). Dans le haut Moyen Âge et jusqu'au XIIIe siècle, les savants se consacraient principalement aux commentaires des écrits de saint Augustin, mais aussi de Platon et ses disciples. D'Aristote, subsistait seule en Occident la logique, qui décrit les règles de la démonstration, alors que presque tous ses écrits concernant l'éthique, la philosophie ou la physique – c'est-à-dire l'étude de la nature – étaient perdus. Au cours du Moyen Âge, d'abord dans la science arabe avec notamment Avicenne et Averroès, puis à partir du XIIe siècle en Occident, les œuvres du philosophe grec sont redécouvertes, traduites, commentées. En biologie, en astronomie, en physique, en philosophie, elles deviendront bientôt la base même du cursus universitaire. Par sa vision rationnelle, cohérente de l'univers, sa méthodologie rigoureuse incluant logique et dialectique, Aristote deviendra pour les siècles suivants l'autorité suprême en matière de pensée et de connaissance, le critère décisif de scientificité. Les étapes obligées de la pratique scientifique vont dès lors devenir l'observation puis le raisonnement logique, permettant de faire des déductions. Les intellectuels médiévaux vont être alors être confrontés à un problème majeur : concilier la pensée d'Aristote avec la foi chrétienne, ce que feront notamment Albert le Grand et son élève Thomas d'Aquin.

◆ Autour de Charlemagne, la Renaissance carolingienne

Bien que lui-même analphabète, Charlemagne va initier un renouveau de la culture, lançant un programme volontariste d'amélioration de l'enseignement et de réforme de la langue latine dans le but de mieux diffuser le message chrétien et d'unifier la société autour de celui-ci. Il entreprend également de réformer les écoles. Pour mener à bien ce projet, il s'entoure de lettrés, notamment Alcuin, maître de l'école du palais d'Aix-la-Chapelle. Les œuvres de saint Augustin, Isidore de Séville ou Martianus Capella forment la base de la culture. Les livres se multiplient, une croissance favorisée par la mise au point vers 770 d'une écriture élégante, claire et lisible, la minuscule caroline. Certains éléments de ponctuation, tel le point d'interrogation, font leur apparition.

AKG-IMAGES / BRITISH LIBRARY

Charlemagne avec les savants Clément d'Irlande et Alcuin. Miniature des *Chroniques de France ou de Saint-Denis*, XIVe siècle.

524
Mort du philosophe et homme politique Boèce, né en 480, qui avait entrepris de traduire et commenter Platon et Aristote en latin, à une époque de disparition de la culture en langue grecque. Il regroupe les disciplines d'enseignement, ou arts libéraux, en deux séries, *trivium* et *quadrivium*.

AURIMAGES

Boèce.

636
Isidore de Séville rédige les *Etymologiarum libri viginti (Étymologies)* : cette encyclopédie pour laquelle son auteur, évêque espagnol, compile environ 150 sources tant chrétiennes que païennes, regroupe toute la connaissance de l'époque. Pour Isidore, le sens profond des choses réside dans le mot qui les désigne. Ouvrage le plus lu et recopié durant tout le Moyen Âge, il servira de socle à la connaissance.

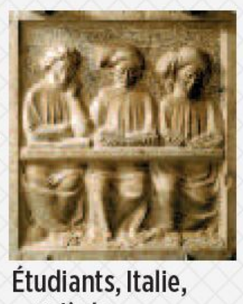
999
Gerbert d'Aurillac (vers 945 – 1003), qui a étudié en Catalogne, découvre les méthodes de calcul des Arabes d'Espagne, avant de devenir pape sous le nom de Sylvestre II. Il introduit les chiffres arabes et invente un abaque avec des jetons chiffrés, outil de calcul qui facilite les quatre opérations. Mais il faudra attendre 1202 pour que Leonardo Fibonacci diffuse largement les chiffres indo-arabes.

1145
Traduction latine de l'*Algèbre* d'Al-Khwarizmi par Robert de Chester.

1187
Mort de Gérard de Crémone (né en 1114). Cet érudit italien se rend à Tolède, ville frontière où se rassemble tout le savoir arabe, pour, selon la légende, y rechercher l'*Almageste* de Ptolémée, non encore traduit en latin. Il y traduit environ 70 ouvrages d'arabe en latin, notamment scientifiques.

v. 1250
Mort de Leonardo Fibonacci (Léonard de Pise), né vers 1170. Il diffuse les chiffres indo-arabes et la numération décimale de position dans son *Liber Abaci* (Livre de l'Abaque) en 1202.

Vers 1200
Fondation des premières universités, Paris, Bologne, Oxford, puis Montpellier, Cambridge.



LUISA RICCIARINI / BRIDGEMAN IMAGES

Étudiants, Italie, XIVe siècle.

Avant 1220
À Tolède, Michael Scot traduit de l'arabe en latin des œuvres d'Aristote ainsi que des commentaires du philosophe par le médecin arabe de Cordoue Averroès (1126-1198), appelé par les Occidentaux le « Commentateur » (sous-entendu d'Aristote).

AKG-IMAGES/ALBUM/PRISMA

Un maître enseignant à ses élèves la rhétorique. Miniature d'un manuscrit conservé au château de Chantilly, XIIIe siècle.

◆ La scolastique

Du latin *schola*, école, c'est la tradition intellectuelle qui domine l'enseignement médiéval dans les universités, basé sur Aristote. Elle repose sur plusieurs piliers : recherche de la vérité, usage de la logique et de la dialectique, conciliation de la foi et de la raison, importance de l'argumentation, primauté de la philosophie et de la théologie. Concrètement, l'esprit des élèves se forme par la *disputatio*, une discussion serrée, basée sur des arguments logiques. Elle se divise en plusieurs phases : la *lectio*, explication plus ou moins littérale d'une œuvre fondamentale ; la *quaestio*, visant à résoudre les problèmes posés par le texte, elle-même subdivisée en plusieurs étapes : énoncé du problème, arguments appuyés sur l'autorité d'auteurs anciens inclinant à conclure dans un sens, arguments contraires, résolution du problème, réponse aux arguments non retenus. La conclusion (*questio disputatio*) était énoncée par le maître. Loin d'être un simple commentaire, la scholastique va donc définir à l'infini des problèmes, qui vont à leur tour susciter d'infinies réflexions.

BRITISH LIBRARY/AURIMAGES

La Géométrie enseignant à des élèves. Miniature d'un manuscrit traduit par Gérard de Crémone, vers 1300.

ALBERT LE GRAND *(1193-1280)*

©NPL/OPALE.PHOTO

Appelé aussi Maître Albert, ce dominicain d'origine allemande, maître de l'université de Paris, philosophe et théologien, est le plus grand savant du XIIIe siècle. Par ses œuvres, il diffuse largement celles d'Aristote. Mais il constitue aussi une immense encyclopédie de sciences naturelles, décrivant et classant toute la faune d'Europe du Nord connue en son temps. Esprit universel, il reprend les savoirs des Grecs, des Latins et des Arabes, auxquels il ajoute ses propres observations, n'hésitant pas à critiquer Aristote. Il interroge ainsi des sages-femmes ou des prostituées pour réaliser un traité de « sexologie », des chasseurs et baleiniers pour ses livres sur les animaux. Ses conceptions de la foi et la raison préfigurent celles de son disciple Thomas d'Aquin : elles se complètent, chacune dans son ordre de vérité.

Sept grands savants

◆ **BÈDE LE VÉNÉRABLE**
(vers 672 – vers 735)
Ce moine anglo-saxon est l'homme le plus érudit de son temps. Il s'intéresse à la musique, à la grammaire, à l'histoire, à la mesure du temps, et notamment à l'établissement du calendrier chrétien. Il est le fondateur de la culture du haut Moyen Âge.

◆ **ALCUIN** *(735 – 804)*
Diacre anglo-saxon, il se place au service de Charlemagne en 786. Il en sera le conseiller le plus écouté et instituera le programme de réforme voulu par l'empereur. Selon lui, la grammaire *« exalte l'humble et arrache le pauvre à son fumier pour qu'il siège avec les princes »*.

◆ **ROBERT GROSSETESTE** *(1175-1253)*
Evêque de Lincoln, il s'intéresse à tous les domaines de la nature, mais particulièrement à l'optique. Il aurait réalisé des expériences.

◆ **JEAN BURIDAN** *(vers 1300 – 1358)*
Recteur de l'université de Paris, il s'intéresse particulièrement à la physique. On lui prête un paradoxe célèbre : un âne assoiffé et affamé ne sait s'il doit d'abord manger ou boire, et hésite tant qu'il finit par mourir.

◆ **ALBERT DE SAXE** *(1316-1390)*
Philosophe allemand, il se consacre particulièrement à la physique, notamment au mouvement des corps : vitesse, chute des corps, gravité, établissant une distinction entre centre de gravité et centre géométrique.

◆ **THOMAS BRADWARDINE** *(1300-1349)*
Archevêque anglais, il est aussi le plus important des calculateurs d'Oxford, un groupe de penseurs appliquant les mathématiques à la physique. Bradwardine est l'auteur d'une loi reliant force, résistance et vitesse, première tentative de quantifier la physique d'Aristote.

◆ **NICOLE ORESME** *(1320-1382)*
Évêque de Lisieux, l'un des plus grands penseurs du XIVe siècle, il est aussi philosophe, astronome, mathématicien, physicien, grand traducteur. Il invente ce qu'on appellera plus tard les coordonnées cartésiennes. En astronomie, il fait l'hypothèse que la Terre tourne sur elle-même en vingt-quatre heures dans un ciel immobile, contredisant ainsi Aristote.

1260
Mort de Jordanus de Nemore, né en 1225, plus grand mathématicien du XIIIe siècle.

1267
***Opus majus* de Roger Bacon** (1219-1292), sorte d'encyclopédie de toute la science. Roger Bacon est l'un des plus grands scientifiques médiévaux *(lire p. 29)*.

1269
Traité sur les aimants de Pierre Pèlerin de Maricourt, l'un des fondateurs de la méthode expérimentale.

1271-1295
Voyage supposé du Vénitien Marco Polo jusqu'en Chine. Il rédige un « récit de voyage », le *Livre des Merveilles*.

BRIDGEMAN IMAGES

Hangzhou, en Chine, illustration du *Livre des Merveilles* de Marco Polo.

Vers 1290
Carte pisane, le plus ancien portulan connu. Elle représente principalement la Méditerranée, avec l'indication des ports.

XIVe siècle
Les calculateurs d'Oxford, dont les plus importants sont Thomas Bradwardine et William Heytesbury (1313-1373), introduisent les mathématiques dans la physique.

LES CHEMINS DE LA SCIENCE

BRIDGEMAN IMAGES

Après la chute de Rome, le savoir antique reflue vers l'Orient, où il irrigue l'aire islamique. C'est l'âge d'or de la science arabe, une science que va rechercher au XII^e^ siècle le monde latin, et qui va stimuler les études dans une nouvelle institution, l'Université.

Socrate débat sur la philosophie avec ses disciples. Miniature d'un manuscrit en arabe, Turquie, XIII^e^ siècle.

ÉTUDIER, DU CLOÎTRE À L'UNIVERSITÉ

Pour faire un bon clerc, il faut savoir lire, écrire, gloser… et connaître ses classiques sur le bout des doigts ! S'ils sont d'abord presque exclusivement religieux, les programmes des études s'ouvrent et se diversifient avec la naissance des universités, au XIIIe siècle.

Fin du Ve siècle : l'effondrement de l'Empire romain met à mal le système des écoles publiques municipales, où le maître d'école apprenait à lire, écrire et compter aux enfants âgés de sept à onze ans. Ces derniers étaient ensuite progressivement initiés à la grammaire, c'est-à-dire à l'étude des textes (syntaxe, prosodie, versification…), avant de s'exercer à imiter les auteurs, puis à commenter leurs œuvres. À 17 ans, ils abordaient la rhétorique afin de savoir rédiger un discours, en recourant éventuellement à la dialectique pour y ajouter des arguments logiques ou philosophiques. Ces trois disciplines (grammaire, rhétorique, dialectique) correspondent aux trois premiers (*trivium*) des arts libéraux sur lesquels reposait la culture hellénistique, complétés par le *quadrivium* (arithmétique, géométrie, astronomie et musique).

Si la tradition classique arrive à se maintenir dans une partie de l'Europe occidentale,

COLLECTION DAGLI ORTI / PINACOTECA NAZIONALE BOLOGNE / AURIMAGES

Détail de la pierre tombale de Giovanni di Bonandrea (v. 1248-1321), professeur de rhétorique à l'université de Bologne (Italie), l'une des premières fondées en Europe.

en particulier au sein des élites, dès la fin du Ve siècle, certains maîtres chrétiens préconisent de renoncer à l'étude des auteurs païens et de ne plus se pencher que sur un texte, la Bible, qui contient à leurs yeux toutes les formes de savoir nécessaires, y compris scientifiques. Jusqu'au VIIIe siècle, c'est alors le mode d'étude ascétique pratiqué dans les monastères qui s'impose, fondé sur la lecture intensive et personnelle. *« Les règles monastiques du VIe siècle rappellent toutes qu'un jeune moine doit apprendre à lire en commençant par le psautier*, indique ainsi le médiéviste Pierre Riché. *Il est invité à le lire à voix basse (*lectio tacita*) pendant plusieurs heures de la journée. »*

On est donc bien loin de l'idéal antique de la *paideia*, qui visait à former de bons citoyens grâce à des enseignements variés – incluant à Athènes la philosophie, la gymnastique et le dessin. Pour que l'instruction renoue un tant soit peu avec certains de ces principes, il faut attendre l'intervention des empereurs carolingiens, concrétisée par la réforme scolaire annoncée dans l'*Admonition générale* de Charlemagne en 789. *« Nous voulons que des écoles soient créées pour apprendre à lire aux enfants. Dans tous les monastères et les évêchés, enseignez les psaumes, les notes, le chant, le comput* (le calcul, ndlr)*, la grammaire, et corrigez soigneusement les livres religieux, car souvent, alors que certains désirent bien prier Dieu, ils y arrivent mal à cause de l'imperfection et des fautes des livres. »* Voici jetées les bases d'un enseignement élémentaire destiné au plus grand nombre, mais toujours sous le contrôle des ministres de l'Église.

Aux pieds du maître, des étudiants parfois assis à même le sol jonché de paille

Dans les faits, comment étudie-t-on ? D'après le plan d'un monastère idéal, celui de Saint-Gall (Suisse actuelle), les douze salles de classe sont plutôt exiguës – dix mètres carrés. Le maître siège sur sa chaire, les élèves sont assis le long des murs, sur des bancs ou à même le sol jonché de paille. Ils disposent d'un stylet pour écrire et de deux tablettes de cire, ce qui leur permet d'effacer facilement leurs notes. Le premier savoir à acquérir, c'est toujours la lecture, afin de parler latin. L'élève s'appuie principalement sur le psautier, qu'il apprend par cœur. Il doit aussi s'exercer à tracer les lettres sur la cire. Il ne pourra se risquer à utiliser plume et parchemin, particulièrement coûteux, que lorsqu'il aura la parfaite maîtrise de l'écriture. Pour ce qui est de compter, la technique du comput digital, qui se base sur les positions plus ou moins repliées des doigts de la main, demande mémoire et agilité : les unités se calculent sur les trois derniers doigts, tandis que le pouce et l'index marquent les dizaines.

Une fois acquis ces savoirs élémentaires, l'élève peut commencer à étudier les arts libéraux. La maîtrise de la grammaire et de la rhétorique, appliquées aux textes classiques faisant autorité (Virgile, Horace, Sénèque, Cicéron…), conduit à la dialectique, dont les règles sont héritées d'Aristote. Pour ce qui est du *quadrivium*, les enseignements sont considérés comme inséparables, puisqu'ils dépendent de l'arithmétique. Ces disciplines sont enseignées à partir des ouvrages de Boèce (vers 480-524) et de Martianus Capella (vers 360-vers 428), les traités de comput sont hérités de Bède le Vénérable (vers 672-735), tandis que la géométrie se base sur la traduction de l'œuvre d'Euclide.

Alors que les écoles monastiques se sont multipliées dans tout l'Occident chrétien, les religieux font volte-face à la fin du XIe siècle. Opérant désormais une stricte distinction entre prière et éducation, ils se ferment à l'enseignement. Les étudiants se concentrent dès lors dans ◆◆◆

Jacques Le Goff, *Les intellectuels au Moyen Âge*, Seuil, 1985

Pierre Riché, Jacques Verger, *Maîtres et élèves au Moyen Âge*, Tallandier, 2006

Jacques Verger, *Les Universités au Moyen Âge*, PUF, 2007

Pierre Riché, *L'Enseignement au Moyen Âge*, CNRS Editions, 2016

◆◆◆ les écoles cathédrales urbaines, rendues obligatoires par le concile romain de 1079 qui oblige les évêques à organiser l'enseignement dans leurs cités. Ces écoles connaissent leur apogée au début du XII[e] siècle grâce à la qualité de leurs maîtres, dénommés écolâtres (*scholaster*), qui introduisent certaines nouveautés comme l'exégèse de la Bible, en soumettant le texte sacré aux mêmes commentaires et gloses que les textes classiques ; ainsi naît la théologie. Ils portent également un plus grand intérêt aux arts du *quadrivium*, tel Gerbert d'Aurillac (940-1003), écolâtre de Reims et futur pape, qui *« fit construire pour ses élèves un abaque, table à calculer nouvelle, des sphères pour étudier les différentes parties de la terre et le système des planètes, et un monocorde pour initier à l'étude de la musique »*, rapporte Pierre Riché.

Cette séparation entre cloître et école marque un tournant inédit, car elle va permettre l'éclosion d'une nouvelle structure éducative : l'université. Pour comprendre la mutation qui s'opère au début du XIII[e] siècle, il faut s'appuyer sur un exemple, et non des moindres : Paris, que la bulle papale de 1231 n'hésite pas à qualifier de *« mère des sciences »*. La vie intellectuelle et scolaire y est concentrée en deux lieux : l'école cathédrale autour de Notre-Dame dans l'île de la Cité, et les multiples écoles de la montagne Sainte-Geneviève sur la rive gauche de la Seine. Le nombre d'étudiants – obligatoirement clercs, c'est-à-dire tonsurés, ce qui exclut les filles mais aussi les Juifs – ne cesse d'y croître, occasionnant maints désordres. Il semble ainsi que ce soit pour répondre à l'augmentation des effectifs comme à la nécessité de protéger les étudiants de la justice laïque, mais aussi pour unifier les programmes et les cursus, que naît l'université en tant que communauté initiée par les maîtres. À Paris, cette réforme se produit entre 1200 et 1215. L'université y bénéficie à la fois de la protection du roi, Philippe Auguste, et du pape, Grégoire IX, l'éducation s'émancipant ainsi du clergé local. Les écoles enseignant les mêmes disciplines se réunissent pour constituer quatre facultés (arts libéraux, théologie, droit et médecine), et les étudiants relevant de la première – les plus nombreux, car l'étude des arts libéraux est requise pour accéder aux autres – se regroupent en quatre nations selon leur origine géographique (France, Normandie, Picardie et Angleterre, qui accueille en réalité tous les étudiants venant du nord de l'Europe). En Angleterre, Oxford et Cambridge se forment aussi en tant que fédération d'écoles. La médecine et le droit gagnent de l'importance avec des établissements situés plus au sud, à Montpellier ou à Bologne (Italie).

AURIMAGES

Avant d'être autorisé à manier la plume sur un parchemin, l'étudiant devait s'exercer sur une tablette de cire avec un stylet. Ici, le poète et musicologue Notker le Bègue, moine de l'abbaye de Saint-Gall (Suisse) où il fut élève. Tropaire-séquentiaire de Saint-Gall, vers 1024-1027.

De Bagdad à Xi'an, de prestigieuses écoles

Comme en Europe, les principaux lieux de savoir de l'Orient à l'ère médiévale sont étroitement liés à la religion.

En Inde, le complexe de monastères bouddhistes de Nalanda aurait été créé au V[e] siècle sous la dynastie Gupta dans l'État du Bihar. Il aurait accueilli des milliers d'étudiants venus de toute l'Asie bénéficier de son enseignement très vaste (philosophie, littérature, logique, médecine…). Plus à l'est, à Chang'an (aujourd'hui Xi'an, en Chine), l'empire Han aurait créé dès le II[e] siècle avant notre ère la Grande École (*Taixue*) afin de former ses fonctionnaires. Cette institution publique, où les étudiants étaient imprégnés des préceptes confucéens, a perduré pendant toutes les dynasties qui se sont succédé avant d'être progressivement avalée, à partir du VII[e] siècle, par l'Académie impériale (*Guozijian*), qui préparait les candidats aux examens impériaux. Cette dernière ne fut dissoute qu'en 1912.

Dans le monde musulman, les Maisons de la sagesse ne semblent pas avoir formé des étudiants. Fondée sous les Abbassides en 832, la plus prestigieuse d'entre elles, le *bayt al-hikma* de Bagdad, aurait plutôt été une bibliothèque à visée encyclopédique ouverte aux savants venus y étudier et traduire des textes.

À la différence de l'académie fondée par les Sassanides à Gondishapur (sud-ouest de l'Iran actuel), qui offrit refuge aux savants bannis d'Athènes par Justinien dès le VI[e] siècle, avant de devenir un centre d'enseignement spécialisé dans la médecine. Lorsque l'empire sassanide fut défait par les musulmans en 638, l'académie perse, qui incluait à l'origine différentes traditions orientales comme le zoroastrisme, devint un centre d'enseignement islamique, avant d'être supplantée par la Maison de la sagesse de Bagdad deux siècles plus tard.

NPL/OPALE.PHOTO

Cours magistral. Antonio da Budrio (1338-1408), juriste et docteur en droit, devant ses étudiants. Il a enseigné à Pérouse, Ferrare et Bologne. Miniature tirée d'un manuscrit italien.

La dialectique reste la discipline reine, car elle permet de s'emparer de tous les sujets, traités sous la forme d'une question (une problématique que l'on résout en s'appuyant sur les autorités) enrichie de commentaires. Pour l'étudiant, la journée s'organise ainsi entre « lecture ordinaire », le matin, au cours de laquelle il écoute le commentaire magistral d'un texte ardu, suivie d'une « lecture extraordinaire » réalisée par un bachelier (un étudiant plus avancé) sur un texte moins important, l'après-midi étant consacré aux très populaires disputes, au cours desquelles deux bacheliers s'affrontent autour d'une question sous la direction du maître. Avant d'obtenir sa maîtrise (ou son doctorat, selon les disciplines), l'étudiant suit un long parcours ponctué d'examens (baccalauréat, puis licence) qui peut durer jusqu'à quinze ans pour la théologie. *« Les programmes et les cursus sont homogénéisés, ce qui garantit le caractère universel de l'enseignement et, en théorie au moins, permet aux étudiants et aux maîtres de passer sans difficulté d'une université à l'autre »*, indique l'historien Jacques Verger. C'est dans ce bouillonnement d'érudition que se constituent de nouveaux foyers de savoir dès la fin du XII^e^ siècle : sur la rive gauche de la Seine, des internats offrent cours et pension à de jeunes boursiers. Le plus célèbre de ces collèges supervisés par l'université prendra le nom de son fondateur, Robert de Sorbon. Alors qu'elle compte environ 4 000 étudiants et maîtres en 1400, voilà donc Paris dotée d'un véritable arsenal de lieux de savoir, où circulent idées, livres fournis par les librairies et bibliothèques, et cours diligemment copiés dans des ateliers afin de garantir leur orthodoxie. L'éducation semble avoir retrouvé l'idéal antique d'un savoir lettré, mais au prix de sa christianisation. À la fin du Moyen Âge, l'invention de l'imprimerie permettra de la diffuser plus encore. C'est d'ailleurs à la maison de la Sorbonne que sera installée la première presse du royaume de France.

SARA DE LACERDA

TOUS DROITS RESERVÉS

« PROGRAMMES ET CURSUS SONT HOMOGÉNÉISÉS, CE QUI GARANTIT LE CARACTÈRE UNIVERSEL DE L'ENSEIGNEMENT UNIVERSITAIRE »

Jacques Verger, historien

LE GRAND VOYAGE DES TEXTES SAVANTS

Après la chute de l'Empire romain d'Occident, c'est dans l'Empire byzantin puis les pays d'Islam que la culture antique trouve refuge et s'approfondit. De traducteur en traducteur, du grec à l'arabe et de l'arabe au latin, les manuscrits circulent, tout comme les idées.

Hippocrate, Platon, Aristote, Euclide, Ptolémée, Galien… Les écrits de ces auteurs antiques ont posé les fondements de nombreuses sciences, de l'astronomie à la médecine en passant par les mathématiques. Mais pour parvenir jusqu'à nous, il aura fallu qu'ils voyagent. Une épopée loin d'être de tout repos ! Nombre de ces manuscrits n'ont pas franchi les siècles, en raison notamment de la fragilité de leur support. Mais d'autres, passés entre de nombreuses mains, ont été lus, recopiés, traduits, commentés, corrigés et complétés par des dizaines de penseurs syriaques, perses, arabes et latins, des confins de l'Anatolie jusqu'aux îles Britanniques.

Le plus durable des supports utilisés dans l'Antiquité gréco-romaine, la pierre, est encombrant et difficilement transportable. À l'inverse, les tablettes de cire sont faciles à graver mais périssables ; on les utilise pour tenir des comptes, par exemple. Mais c'est sur le papyrus, bien plus pratique, que les penseurs couchent leurs idées ; ce support, réalisé à partir de la tige d'une plante africaine (*Cyperus papyrus*), peut contenir un texte long – un rouleau mesure en moyenne trois mètres – et se révèle assez facile à stocker, déplacer et recopier. Ce format a pourtant, lui aussi, ses limites – une œuvre complète est souvent constituée de plusieurs rouleaux – et le papyrus est fragile. Enroulé sur des baguettes de bois, il doit être constamment déroulé et enroulé de nouveau si l'on veut consulter un passage du texte en particulier ; une manipulation qui l'abîme. Il faut donc recopier souvent les œuvres si l'on veut les voir survivre au temps et à l'usure.

LAURENCE MOULINIER-BROGI

« NOMBRE DE CALIFES AURONT POUR POLITIQUE DE FAIRE TRADUIRE EN ARABE DES PANS ENTIERS DE LA CULTURE GRECQUE »

Laurence Moulinier-Brogi, professeure d'histoire médiévale à l'université Paris Nanterre

Monastères pillés, bibliothèques dévastées, livres dispersés

Vers le IIe siècle avant notre ère, un nouveau support entre en scène. Fabriqué à partir de peaux d'animaux (souvent de mouton), le parchemin est moins fragile et, pour le vélin (peau de très jeune veau), plus fin que le papyrus. Peu de temps après, entre les Ier et IVe siècles, apparaît une nouvelle technique de compilation des textes : le codex. Il s'agit d'un ensemble de feuilles de parchemin formant des pages, reliées sous la forme d'un ou de plusieurs cahiers collés ou cousus ensemble. Facile à feuilleter, à stocker et à transporter, et bien plus résistant et durable, le codex est si pratique qu'on l'emploie encore à ce jour ! S'opère alors un grand mouvement de transfert ; on recopie sur codex de nombreux rouleaux. Mais certaines œuvres qui n'intéressent que peu les copistes de l'époque disparaissent de la circulation. L'Europe bascule dans une nouvelle ère…

Car à la fin du Ve siècle, l'Empire romain d'Occident se désagrège, la carte de l'Europe se redessine, les centres urbains périclitent. *« Cette débandade s'accompagne de démantèlements, de ruptures, de mises à sac d'institutions ; des monastères pillés, des bibliothèques dévastées, des livres dispersés,* explique Laurence Moulinier-Brogi, professeure d'histoire médiévale à l'université Paris Nanterre. *Cela entraîne un repli sur les connaissances principalement latines*

ARCHIVES CHARMET/BRIDGEMANIMAGES

et, petit à petit, un certain oubli du grec. » Or, la civilisation romaine, malgré ses domaines d'excellence comme le droit, n'a jamais égalé la science grecque – médecine de Galien et d'Hippocrate ou philosophie d'Aristote.

En Italie, certains érudits, comme Boèce (480-524) et son disciple Cassiodore (485-580), s'efforcent de protéger la culture classique. Le premier traduit et commente l'œuvre philosophique d'Aristote, qui servira de socle à la pensée occidentale à partir du XIIIe siècle ; le second fonde en Calabre un monastère, le Vivarium, dans lequel les moines recopient des textes qu'il a sauvés des ruines de nombreuses bibliothèques ; un lieu précurseur des *scriptoria*, ces ateliers où, pendant tout le Moyen Âge, les religieux recopieront des manuscrits dans les monastères et les abbayes. *« Dans le monde latin, le recul des connaissances antiques est jugulé par l'œuvre des moines copistes,* souligne Laurence Moulinier-Brogi. *Les livres sont alors souvent stockés à plat dans l'*armarium *des monastères, sorte de niche murale, et conservés par l'*armarius*, ancêtre du bibliothécaire. »*

Mais à l'autre bout de la Méditerranée, la langue et la culture grecques subsistent au sein de l'Empire romain d'Orient. *« On continue d'étudier Platon ou Homère à Byzance,* explique Arnaud Zucker, professeur de langue et littérature grecques à l'université Côte d'Azur. *Mais le goût pour les sciences naturelles s'y perd au profit de réflexions plus théologiques. »* Plus à l'est, cependant, la tendance est inverse. *« Les nouveaux pouvoirs qui se mettent en place et relèvent de la civilisation islamique naissante ont soif de science,* explique Laurence Moulinier-Brogi. *Beaucoup de califes auront pour politique de faire traduire en arabe des pans entiers de la culture grecque, disponible dans ces régions. »* Une présence liée au rayonnement vers l'Orient de la culture hellénique lors des conquêtes d'Alexandre le Grand, mais aussi à la fermeture de l'école néoplatonicienne d'Athènes en 529 par l'empereur Justinien, qui eut pour conséquence l'exil des derniers philosophes de la tradition grecque antique vers la Perse des Sassanides, où ils apportèrent la pensée et les textes grecs. Au Proche-Orient, nombre de ces textes sont d'abord traduits du grec vers le syriaque. C'est une véritable translation du savoir d'une sphère culturelle à une autre qui s'opère alors. ◆◆◆

Médecin grec du Ier siècle, Dioscoride est l'auteur d'un traité qui a été largement diffusé grâce à ses nombreuses traductions, ici en arabe (vélin du XIIIe siècle). La version latine est connue sous le nom de *De materia medica*.

◆◆◆ Vers Bagdad, capitale rayonnante du puissant califat abbasside qui règne sur le Proche-Orient à partir de 750, convergent alors toutes sortes de textes anciens ; des traités d'optique, de médecine, de philosophie et d'astronomie en grec et en syriaque, traduits dans une langue arabe qui s'uniformise. *« C'est grâce à cet engagement intellectuel du monde arabe lettré que se maintient le savoir astronomique ptoléméen, largement négligé ailleurs »*, précise Arnaud Zucker *(lire aussi p. 42-44)*.

Des « points chauds » de savoir s'installent autour de la Méditerranée

En 793, un nouveau produit arrive à Bagdad, révolutionnant le monde du livre : le papier ! Son secret de fabrication a été livré par des prisonniers capturés lors de la bataille de Talas, qui opposa en 751 les Abbassides à la dynastie chinoise des Tang. Combiné à des innovations dans la fabrication de l'encre et de la colle, le papier dynamise la production et le commerce des livres, tandis que la traduction des textes anciens bat son plein, portée notamment au IXe siècle par un chrétien, Hunayn ibn Ishaq (809-873), qui révolutionne la pratique. Plutôt que de traduire mot à mot, il s'appuie sur sa connaissance profonde de trois langues – syriaque, grec et arabe – pour translater le sens exact des phrases. Il enrichit ainsi la langue arabe d'un vocabulaire technique permettant d'exprimer des notions scientifiques complexes, grâce auquel les savants peuvent mieux organiser, contester ou confirmer les théories antiques sur lesquelles ils s'appuient pour développer leurs propres réflexions.

« Il ne faut pas voir les manuscrits comme des objets confinés dans l'obscurité, précise Laurence Moulinier-Brogi. *Les livres, comme les érudits qui les produisent, voyagent ! »* Tous ces textes rayonnent au sein de la sphère d'influence musulmane, abreuvant, dans tout le pourtour méditerranéen, de véritables « points chauds » de savoir. *« Les livres sont non seulement des supports de connaissance, mais aussi des objets de prestige qui intègrent des collections, au même titre que n'importe quel autre trésor »*, remarque Laurence Moulinier-Brogi. Ainsi, l'empereur byzantin Constantin VII envoie au calife Abd al-Rahman III de Cordoue un manuscrit du *De Materia Medica (lire p. 56-59)*. Les souverains omeyyades assemblent d'ailleurs de formidables collections d'ouvrages – près de 400 000 ! – dans leurs bibliothèques.

Au XIIe siècle, ces textes savants cheminent vers le monde latin, en passant par des cités où se concentre le savoir, à l'interface entre les cultures. À Salerne, en Italie du Sud, on étudie dans une prestigieuse école de méde-

DIDIER GOUPY / SIGNATURES

« À BYZANCE, ON CONTINUE D'ÉTUDIER PLATON OU HOMÈRE, MAIS LE GOÛT POUR LES SCIENCES NATURELLES SE PERD AU PROFIT DE RÉFLEXIONS PLUS THÉOLOGIQUES »

Arnaud Zucker,
professeur de langue et littérature grecques à l'université Côte d'Azur

Animal traduit, animal trahi

Traduire un texte scientifique est un exercice délicat qui, dans le domaine de la zoologie, a donné vie à de curieux spécimens. *« Que ce soit du grec à l'arabe, du grec au latin, ou de l'arabe au latin, il y a une certaine variabilité dans l'identification des animaux, car les informations naturalistes, dans le contexte médiéval, sont souvent pauvres »*, explique Arnaud Zucker, professeur de langue et littérature grecques à l'université Côte d'Azur. Dans son *Histoire des animaux,* Aristote décrit quelque 500 bêtes qui ne posent en général pas de problème de traduction à un encyclopédiste arabe comme Al-Gahiz (776-867). Certaines confusions font toutefois leur apparition. Par exemple, quand, en arabe, « âne sauvage » décrit à la fois le rhinocéros et le zèbre. *« Mais le transfert du grec au latin a été un processus plus accidenté »*, remarque Arnaud Zucker. Comme pour la girafe, *camelopardalis* en grec (« chameau » et « léopard »). *« Le nom se retrouve translittéré, et l'animal, énigmatique, prend place indirectement dans la langue et la culture d'arrivée. »* En résultent des représentations fabuleuses d'une créature mêlant les caractéristiques du chameau et du léopard. Un autre cas de traduction hasardeuse est celui de l'encyclopédiste brabançon du XIIIe siècle Thomas de Cantimpré. Pour son œuvre *Liber de Natura Rerum*, il se réfère à Pline l'Ancien qui, lui-même, mentionnait un patricien romain du nom de Trebius Niger. Or, une erreur de lecture fera de ce notable romain… un poisson ! *« C'est un animal de papier qui surgit littéralement d'une confusion »*, explique Arnaud Zucker. Et ce « trébius noir » continua de cheminer après avoir été repris par Albert le Grand (1200-1280), savant bavarois qui fut le maître de Thomas d'Aquin.

BNF

Une erreur de traduction du grec vers le latin a transformé la girafe, *camelopardalis*, en un hybride de chameau et de léopard.

ARCHIVES CHARMET / BRIDGEMAN IMAGES

Le parchemin est précieux, car onéreux, et souvent gratté puis réutilisé. Ce *Codex Sinaiticus Rescriptus*, transcription des Évangiles en dialecte araméen datée des Ve-VIIe siècles, a été recouvert au Xe siècle d'un texte en géorgien par le moine calligraphe Jean Zosime.

cine des sources arabes et grecques. L'érudit Gérard de Crémone (1114-1187) se rend à Tolède, ancienne capitale d'un royaume musulman fraîchement conquis par Alphonse VII de Castille, car il s'y trouve une incroyable quantité d'ouvrages scientifiques en grec et en arabe. Il traduira 87 de ces œuvres de l'arabe vers le latin, au sein d'un mouvement baptisé plus tard l'école des traducteurs de Tolède. C'est ainsi que le monde latin va redécouvrir des classiques grecs qui n'avaient survécu en Occident que sous la forme d'extraits et de citations commentées. Mieux encore, ce colossal travail de traduction introduit dans la culture latine des travaux scientifiques fondateurs d'érudits musulmans comme le *Traité d'optique* d'Alhazen (965-1040) ou le *Canon de la médecine* d'Avicenne (980-1037). *« L'horizon intellectuel de l'Occident lettré s'élargit soudain considérablement,* note Laurence Moulinier-Brogi. *Et ces textes vont se répandre à travers toute l'Europe, catalysant la mise en place des premières universités* (lire p. 18-21), *où se développent de nouvelles techniques de copie plus efficaces. »* La *pecia*, notamment, consistera à désosser une œuvre en plusieurs cahiers distribués à une multitude de copistes pour accélérer la production d'exemplaires nécessaires à l'enseignement. Au même moment, le papier commence à pénétrer l'Occident latin, ce qui rendra possible, moins de trois siècles plus tard, l'invention de l'imprimerie. Dès lors, la préservation des connaissances sera assurée.

WILLIAM ROWE-PIRRA

Danielle Jacquart, *L'Épopée de la science arabe*, Gallimard, 2005

Violet Moller, *Les Sept Cités du savoir*, Payot, 2020

Comment les sources arabes ont-elles permis aux chrétiens de découvrir les écrits d'Aristote ?
« Le Pourquoi du comment : histoire », émission du 29 janvier 2024), France Culture
https://sciav.fr/arabes-aristote

Un catalogue d'étoiles caché sous les Évangiles !

Le Moyen Âge cache parfois l'Antiquité. Une équipe franco-britannique a ainsi récemment eu la surprise de découvrir, dissimulé sous les jeux d'écriture d'un parchemin médiéval, un fragment du catalogue d'Hipparque, constitué au IIe siècle av. J.-C. et depuis disparu.
« Hipparque de Bithynie est le premier Grec à mesurer précisément l'emplacement sur la voûte céleste d'un grand nombre d'étoiles, en recourant à un système de coordonnées orthogonales », explique Victor Gysembergh, chercheur au centre Léon-Robin de recherches sur la pensée antique. Ses travaux inspireront l'astronome grec d'Alexandrie Claude Ptolémée qui, 250 ans plus tard, évoquera son catalogue dans l'*Almageste*.
L'équipe de chercheurs a fini par en retrouver la trace sous les lignes d'un document du IXe ou Xe siècle : le *Codex Climaci Rescriptus,* un manuscrit du Nouveau Testament provenant sans doute du monastère Sainte-Catherine du Sinaï (Égypte), connu pour être un palimpseste – un parchemin dont les feuillets ont été grattés afin d'être réutilisés.
C'est en essayant de décrypter les lettres transparaissant derrière des écrits en syriaque que les chercheurs sont tombés en 2021 sur une description en grec de la constellation de la Couronne boréale.
« Ce passage précisait les coordonnées des quatre étoiles qui délimitent cette partie du ciel. Comme elles ont changé de place depuis l'époque des observations citées par le document, nous avons facilement pu retrouver la date où elles avaient été réalisées : vers 129 av. J.-C. » Pile dans la période – entre 170 et 120 av. J.-C. – où Hipparque est réputé avoir produit son inventaire ! Depuis, ces spécialistes ont repéré dans le *Codex Climaci Rescriptus* d'autres feuillets susceptibles de livrer des constellations supplémentaires.

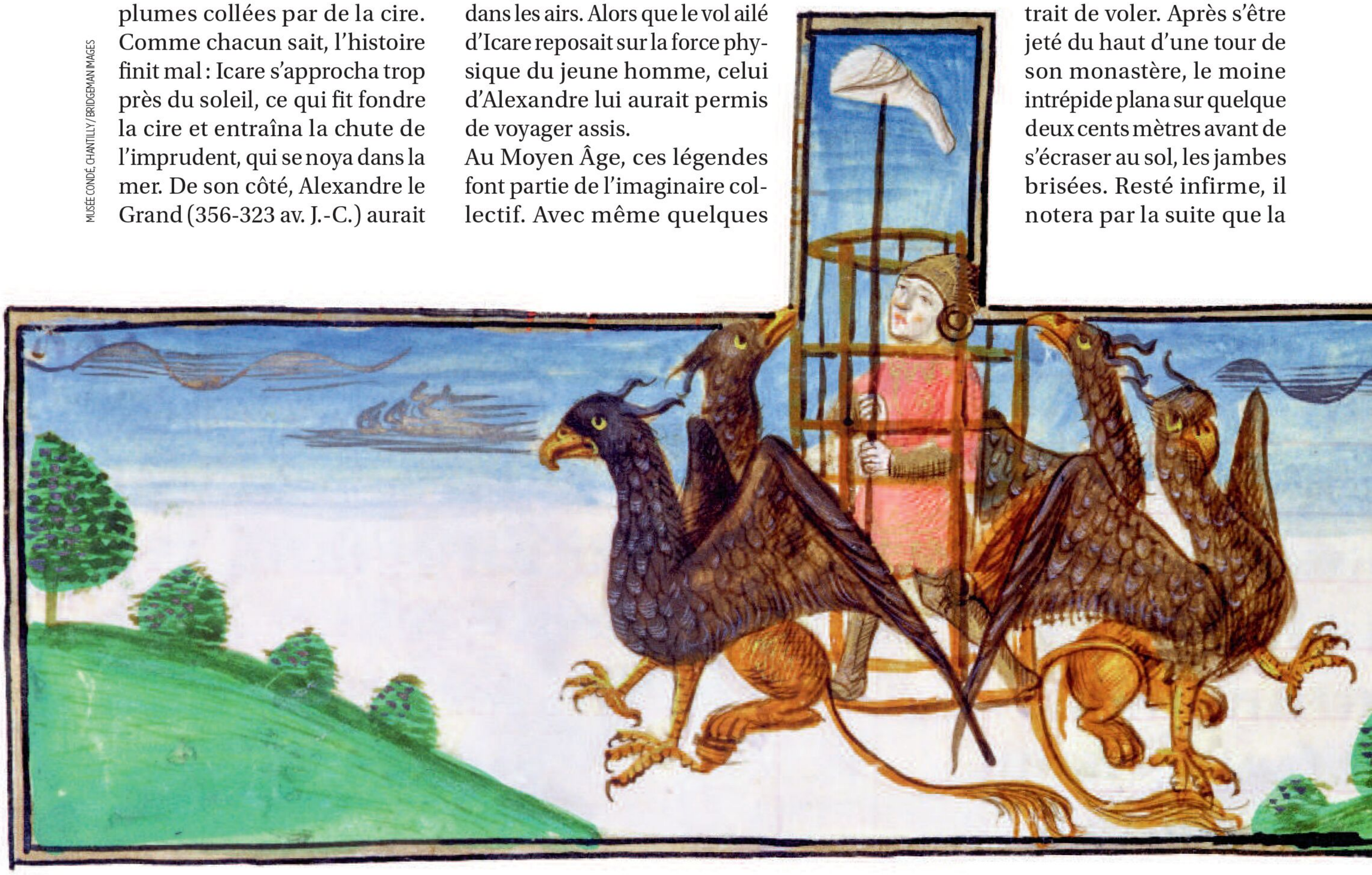
VAHÉ TER MINASSIAN

Un jour, l'homme volera dans une machine...

Confiant en la puissance de la raison, le philosophe anglais Roger Bacon imagine rien de moins que... le vol humain. Cette conceptualisation d'un projet irréalisable en son temps annonce l'avènement d'une science capable de transformer le monde.

Voler comme un oiseau : ce rêve de l'humanité a inspiré de nombreux mythes. Dans l'Antiquité, notamment, celui de Dédale s'échappant du labyrinthe avec son fils Icare grâce à des ailes en plumes collées par de la cire. Comme chacun sait, l'histoire finit mal : Icare s'approcha trop près du soleil, ce qui fit fondre la cire et entraîna la chute de l'imprudent, qui se noya dans la mer. De son côté, Alexandre le Grand (356-323 av. J.-C.) aurait imaginé, depuis une montagne dominant la mer Rouge, un dispositif pour déterminer *« si le ciel était tel que nous le voyons »* : une nacelle portée par des griffons, animaux à corps de félin et tête d'oiseau, grâce à laquelle il pourrait s'élever dans les airs. Alors que le vol ailé d'Icare reposait sur la force physique du jeune homme, celui d'Alexandre lui aurait permis de voyager assis.

Au Moyen Âge, ces légendes font partie de l'imaginaire collectif. Avec même quelques tentatives pour matérialiser le rêve d'Icare. Au XIe siècle, en effet, un jeune moine bénédictin anglais, Eilmer de Malmesbury (985-1066), se fabriqua des ailes avec des plumes qu'il fixa à son corps, convaincu que leur battement lui permettrait de voler. Après s'être jeté du haut d'une tour de son monastère, le moine intrépide plana sur quelque deux cents mètres avant de s'écraser au sol, les jambes brisées. Resté infirme, il notera par la suite que la



MUSÉE CONDÉ, CHANTILLY / BRIDGEMAN IMAGES

raison de sa chute était qu'il avait oublié *« de se munir d'une queue »*. Dans le monde musulman, deux tentatives de vol ailé s'étaient également soldées par un échec, celle d'Ibn Firnas à Cordoue vers 875 et celle d'un étudiant perse vers 1003.

Cependant, *« le rêve de voler intéresse peu les savants de l'époque »*, observe l'historien Nicolas Weill-Parot, titulaire de la chaire Histoire des sciences dans l'Occident médiéval à l'École pratique des hautes études. Selon lui, cette question illustre la manière dont se sont développées les études scientifiques dans les premières universités, comme celle de Paris, créée au XIIIe siècle. *« Traduit du grec et de l'arabe au siècle précédent, Aristote domine alors la science enseignée à l'université. Qualifiée de scolastique, elle prône la démarche rationnelle pour expliquer les phénomènes naturels. À ce titre, le vol semble difficilement accessible à l'être humain »*, explique-t-il.

La science scolastique est en effet spéculative, fondée

« L'ascension » d'Alexandre le Grand est un épisode de la légende, encore vivace au Moyen Âge, du roi de Macédoine. Grâce à la force extraordinaire de griffons, il réussit à quitter la terre à bord d'une nacelle. Vélin du XVe siècle.

BERNARD MARTINEZ

Nicolas Weill-Parot, *Le Vol dans les airs au Moyen Âge, essai historique sur une utopie scientifique,* Les Belles Lettres, 2020

« POUR ROGER BACON, LA TECHNIQUE PEUT DÉPASSER LA NATURE. CETTE CONCEPTION LUI PERMET D'IMAGINER UNE UTOPIE SCIENTIFIQUE COMME LA MACHINE À VOLER, EN EXCLUANT TOUT RECOURS À LA MAGIE »

Nicolas Weill-Parot, professeur à l'École pratique des hautes études

en priorité sur le commentaire. Elle n'accorde pas de valeur fondamentale à l'expérimentation, aujourd'hui au cœur de la démarche scientifique. La connaissance vient de l'expérience sensible : les savants essaient de relier les phénomènes naturels qu'ils observent aux principes définis par Aristote. En ce qui concerne le vol, le seul spectacle naturel qui s'offre à eux est celui des animaux, principalement des oiseaux. Si Aristote décrit bien leur comportement dans ses traités zoologiques, il s'intéresse assez peu aux mécanismes du vol. Et quand il examine, dans *La Marche des animaux,* la possibilité du vol humain, c'est pour mieux balayer cette idée jugée irrationnelle : l'homme ayant deux bras et deux jambes, sa forme n'est pas adaptée. Si on lui ajoutait des ailes, elles lui seraient inutiles. L'inutilité n'étant pas naturelle, la question ne mérite pas qu'on s'y intéresse. CQFD ! La messe semble dite, du moins en ce qui concerne l'étude du vol humain à l'université. Celui-ci relève de légendes, voire de la magie ou bien du surnaturel, comme la lévitation de saint Thomas d'Aquin, porté par l'élévation de son âme, ou encore le transport d'hommes dans les airs par des démons.

C'est compter sans quelques esprits novateurs qui vont s'intéresser à ce sujet, que Nicolas Weill-Parot qualifie d'utopie scientifique : un projet extraordinaire irréalisable dans les conditions de la science au moment où il est formulé, mais qui pourrait le devenir dans un avenir plus ou moins lointain.

Parmi eux, un frère franciscain, Roger Bacon (1220-1292), nourri lui aussi aux conceptions du grand maître grec, va bousculer la pensée dominante *(lire aussi p. 29).* Dans un texte rédigé vers 1260, connu sous le nom de *Epistola de secretis operibus artis et naturae et de nullitate magiae (Lettres sur les prodiges de l'art et de la nature et la nullité de la magie),* il écrit que, en articulant l'*ars* (la technique) et la *scientia* (le savoir), on pourrait fabriquer des choses extraordinaires comme des voitures sans chevaux, des bateaux sans rameurs et *« des instruments pour voler, de telle manière qu'un homme serait assis au milieu et tournerait quelque mécanisme par lequel des ailes fabriquées artificiellement frapperaient l'air à la manière d'un oiseau qui vole »*.

Un petit levier souleverait des poids presque infinis

Bacon est certes imprégné d'une vision toute religieuse : il imagine ces machines extraordinaires comme des instruments pour aider les chrétiens à se défendre contre l'Antéchrist. Mais, à la différence de ses contemporains, il promeut une nouvelle science expérimentale qui, en s'appuyant sur la technique, permettra de transformer le monde. Alors que, selon la philosophie médiévale, l'*ars* peut produire des imitations imparfaites de la nature sans l'égaler, pour Bacon, la ◆◆◆

◆◆◆ technique peut dépasser la nature. *« C'est probablement cette conception ouverte qui lui permet d'imaginer une utopie scientifique comme la machine à voler, en excluant tout recours à la magie »*, commente Nicolas Weill-Parot. En savant rigoureux, Bacon extrapole la possibilité de réaliser un jour cette machine à partir du savoir de son temps. Par exemple, il s'appuie sur la science des poids du mathématicien Jordanus de Nemore (1225-1260) pour imaginer qu'un petit levier pourrait, avec une faible force, soulever des poids *« presque infinis »*. Il a recours aux connaissances en optique pour avancer l'hypothèse que d'énormes miroirs pourraient refléter la géographie des côtes. Excluant toute force mystérieuse et magique, Bacon est convaincu que les mécanismes du vol seront un jour élucidés par la science et permettront de réaliser sa machine. C'est d'ailleurs plus un théoricien de l'expérimentation qu'un expérimentateur lui-même. Et sa position singulière ne semble guère avoir été suivie.

Au siècle suivant, deux grands savants imaginent pourtant, eux aussi, quelque chose qui évoque un aérostat. Mais ce faisant, ils se contentent d'une expérience de pensée. Vers 1351, le philosophe allemand Albert de Saxe (1316-1390) décrit, dans son commentaire de la *Physique* d'Aristote, une nef emplie de feu voguant sur la sphère de l'air, par analogie avec une nef remplie d'air flottant sur la sphère de l'eau – selon Aristote, il existe en effet une sphère pour chacun des quatre éléments, celle du feu se situant au-dessus de celle de l'air, dans la région concave de l'orbe de la Lune. Un peu plus tard, en 1377, dans son *Livre du ciel et du monde,* le philosophe et savant français Nicole Oresme (1320-1382) évoque à son tour une nef habitée emplie d'un feu (non brûlant pour l'homme) qui voguerait sur l'air. Même s'il mentionne la poussée d'Archimède*, Oresme finit par rejoindre l'explication d'Albert de Saxe : en bons aristotéliciens, ils préfèrent s'en tenir à une observation simple – la légèreté du feu par rapport à l'air – pour expliquer la suspension de leurs nefs sur la sphère de l'air. Pas un instant, ils n'envisagent que des aérostats soient réalisables dans le futur. C'est là toute la différence avec Bacon : dépassant la pensée scolastique dominante, ce dernier fut le seul à penser dès le Moyen Âge que l'homme inventerait un jour une machine à voler.

MARIE-LAURE THÉODULE

FINEART/OPALE.PHOTO

Plus inspiré par le mythe de Dédale que par la Bible, le moine anglais Eilmer de Malmesbury a tenté, au XIe siècle, de voler après avoir fixé des ailes à ses membres. Il plana sur 200 mètres avant de se briser les jambes. Vitrail de l'abbaye de Malmesbury, 1928.

◈ IDÉE REÇUE ◈

Au Moyen Âge, on pensait que la Terre était plate

Dès l'Antiquité, les Grecs ont montré que la Terre était une sphère, une connaissance qui s'est alors diffusée dans l'ensemble de l'Europe. Or, l'idée plane aujourd'hui que ce savoir s'est perdu et que les gens du Moyen Âge, influencés par l'Église, pensaient la Terre plate. Dans l'ouvrage *La Terre plate : généalogie d'une idée fausse* (éd. des Belles Lettres), les chercheuses Sylvie Nony et Violaine Giacomotto-Charra remontent à la source de cette idée reçue. Et c'est la faute à Voltaire ! En effet, au XVIIIe siècle, le philosophe, souhaitant discréditer l'Église, extrapole les écrits de Lactance, un chrétien du IIe siècle qui affirme que la Terre est plate, et généralise ses propos à l'ensemble des Pères de l'Église. Or, la pensée de Lactance était marginale. Le mythe s'installe ensuite au XIXe siècle avec Washington Irving, qui écrit une biographie romancée de Christophe Colomb dans laquelle figure une altercation entre lui et l'archevêque de Grenade, celui-ci refusant d'entendre que la Terre est ronde. En vérité, l'Église ne s'est jamais opposée au concept de la sphéricité de la Terre. C'est même ainsi qu'elle figure dans les représentations artistiques et les manuscrits. **SYLVIE NADIN**

* La poussée d'Archimède explique pourquoi un ballon gonflé à l'hélium s'élève dans les airs : son poids est plus léger que celui du volume d'air qu'il déplace. Ce principe permettra l'envol du premier ballon des frères Montgolfier (1783).

PORTRAIT

Roger Bacon, un savant à contre-courant

Un franc-tireur. C'est ainsi que l'historien Nicolas Weill-Parot, spécialiste de l'histoire des sciences en Occident médiéval, qualifie Roger Bacon *(lire aussi p. 26-28)*. Ce savant né en Angleterre au début du XIIIe siècle est en effet une figure singulière de son époque, souvent considéré comme un pionnier de la méthode scientifique.

Pour l'historien, il y a *« deux Bacon »*. Jusqu'aux années 1250, c'est un commentateur renommé et influent d'Aristote, qui enseigne la scolastique, notamment à l'université de Paris (où il a reçu son grade de docteur en théologie). Il entre dans l'ordre franciscain en 1256 ou 1257, puis retourne en Angleterre vers 1280. *« Il devient alors très critique de ce savoir »*, sans que les causes de ce revirement aient pu être déterminées. Pour lui, la tradition universitaire est insuffisante et il faut la compléter par ce qu'il nomme la *« science expérimentale »*. Il ne cessera dès lors de défendre cette approche.

À cette époque, les savants considèrent, à l'instar des philosophes antiques, que l'*ars* (le savoir-faire technique) ne peut produire que des imitations imparfaites de la nature. Or, Roger Bacon soutient que la vérification expérimentale et la recherche des causes amèneront à découvrir les secrets de la nature et de l'*ars,* mais aussi ceux qui les relient l'une à l'autre. *« Bacon est le seul, à ma connaissance, à affirmer que l'*ars *peut non seulement égaler la nature, mais la dépasser,* poursuit Nicolas Weill-Parot. *C'est l'un des fondements de sa pensée. Ce qui explique sa capacité à se projeter dans des inventions extraordinaires. »* Il imagine ainsi des chars sans chevaux pour les tirer, des navires sans rameurs, une machine à voler, des leviers capables de soulever des poids considérables, des ponts sans appuis… Ces inventions *« se rapprochent de l'utopie scientifique, même si le terme est anachronique* »*, souligne Nicolas Weill-Parot, qui rappelle que le savant avait été qualifié par l'historien des sciences Guy Beaujouan de *« Jules Verne médiéval »*. Il précise que les réflexions de Roger Bacon, tout comme ses inventions, s'inscrivent toujours dans une perspective eschatologique. *« Il souhaite réarmer intellectuellement et militairement les chrétiens pour se préparer à l'Apocalypse et la venue de l'Antéchrist. »* Toujours dans cette perspective, il propose une réforme du savoir et de la Chrétienté, reposant sur l'apprentissage des mathématiques et des langues ainsi que sur la science expérimentale.

FINE ART/OPALE.PHOTO

Roger Bacon (1220-1292), également connu sous le titre de « Docteur Mirabilis », moine franciscain, philosophe, scientifique et théologien anglais. Gravure anonyme de 1659.

Pourtant, selon Nicolas Weill-Parot, Roger Bacon n'est pas un précurseur de la science expérimentale moderne. *« Il garde une approche archaïque, dans le sens premier du terme. Il considère qu'on doit retrouver un savoir perdu, que toutes ces connaissances préexistaient mais ont été oubliées. »* De plus, il ne définit pas un processus d'expérimentation contrôlé, contrairement à Pierre de Maricourt *(lire aussi p. 32-34)*, que Roger Bacon admirait. C'est un *« théoricien de l'expérimentation »*, comme l'illustrent ses évocations des inventions extraordinaires.

L'historien conclut, avec réserve : *« Roger Bacon est unique en son genre et semble ne pas avoir eu de successeurs. Il ne doit pas être l'arbre singulier qui cache la forêt de la science médiévale, composée de commentateurs scolastiques eux aussi novateurs… à leur manière. »* **SYLVIE NADIN**

* Ce terme a été inventé au XVIe siècle par Thomas More.

ÉTUDIER LA NATURE

BRITISH LIBRARY/KHARBINE/LA COLLECTION

Alors que les savants s'emparent des textes d'Aristote consacrés à la biologie ou à l'astronomie, tout un monde s'ouvre à eux : celui d'une compréhension logique et raisonnée des phénomènes naturels.

Apium (sans doute une variété de céleri) et *Aper*, le sanglier, extrait d'un dictionnaire en latin à l'usage des médecins et apothicaires, expliquant le nom d'usage en latin, grec et arabe. *Tractatus de Herbis*, Lombardie, 1440.

Apium emorroydarii ve-
strucem appellat domi
am unam aly contra.

er sine uerus.

Aprotani qd multa uocat
cradiam aut chamaton
aut berengelis aut helium.

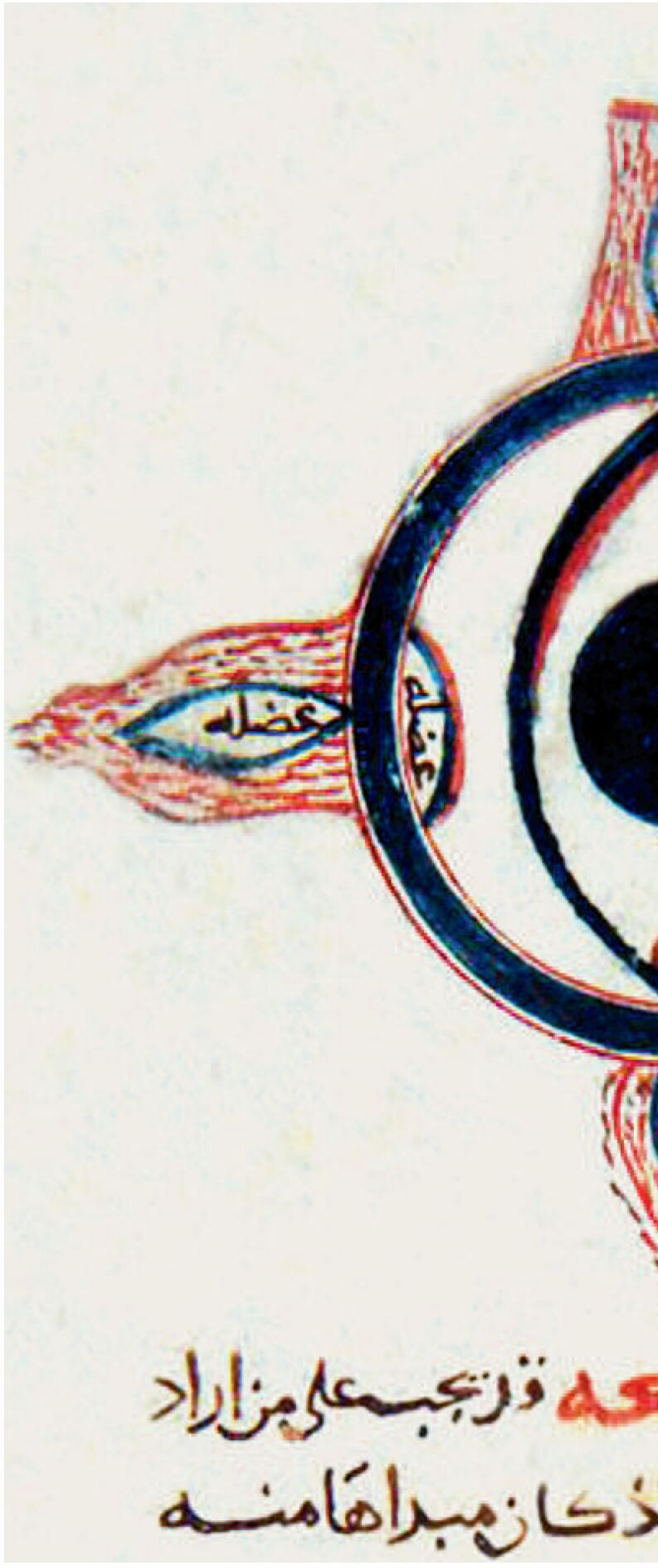
Au-delà de la physique d'Aristote

Optique, mouvement, magnétisme… Progressivement, les savants arabes puis latins vont s'appuyer sur l'expérimentation pour décrire le monde. Jusqu'à initier une révolution : appliquer les mathématiques à la physique.

La physique médiévale prend naissance de l'autre côté du bassin méditerranéen, pendant l'âge d'or de la civilisation arabo-musulmane *(lire aussi p. 12-13). « À cette époque, l'islam n'exerçait pas d'emprise. Il était lui-même objet de discussion, si bien que tout était possible,* rappelle Azzedine Boudrioua, physicien à l'université Sorbonne Paris Nord. *Les traductions des textes antiques se diffusent dans tout le monde musulman. Notamment à Bagdad, où est créée la Maison de la sagesse. »*

L'un des tout premiers à s'installer à Bagdad est Al-Kindi (801-873). Le philosophe s'intéresse aussi bien aux mathématiques qu'à l'astronomie et à l'optique – en particulier à la conception de la vision défendue par Euclide. Selon ce dernier, il existe un rayon lumineux qui part de l'œil vers l'objet observé et le « palpe ». Se plaçant dans ce cadre, Al-Kindi réalise des expériences projetant des ombres qui lui permettent de montrer, géométriquement, que la lumière se propage en ligne droite. Il suggère également que l'œil n'émet pas un seul rayon lumineux, mais que chaque point de sa surface en envoie dans toutes les directions. Ce n'est pas le cas pour cet organe, mais cette idée s'applique bien aux sources de lumière ! *« Al-Kindi a élaboré une philosophie générale de la nature fondée sur l'optique, comme si celle-ci était la discipline mère de toute la physique, capable d'expliquer l'ensemble des phénomènes »*, résume Mathieu Husson, historien de l'astronomie à l'Observatoire de Paris.

Al-Kindi aura une grande influence sur Ibn-al-Haytham (965-1040), connu dans l'Occident médiéval sous le nom d'Alhazen, le savant le plus important de la civilisation arabe. Ses ouvrages, traduits en latin à la fin du XII[e] siècle, vont nourrir la réflexion de nombreux intellectuels européens. *« Alhazen ne tranche pas vraiment entre l'idée que les rayons lumineux sont émis par l'œil ou par les objets eux-mêmes,* explique Mathieu Husson, *mais il comprend que c'est dans l'œil que tout se passe, en lien avec le cerveau, ce qui lui permet d'élaborer une théorie sur la vision binoculaire et la perception du relief. »*



« Alhazen multiplie les expériences en optique, notamment sur la réflexion et la réfraction de la lumière, précise Azzedine Boudrioua. *Il esquisse même un formalisme mathématique pour décrire ces deux phénomènes. »*

Contemporain d'Alhazen, Ibn Sina (980-1037) – connu sous le nom d'Avicenne – s'intéresse d'abord à la philosophie et à la médecine. Mais dans la dernière partie de sa vie, il se penche sur l'étude du mouvement, s'attaquant à l'idée d'*impetus* proposée dès le VI[e] siècle par Jean Philopon

AZZEDINE BOUDRIOUA

« ALHAZEN MULTIPLIE LES EXPÉRIENCES EN OPTIQUE. IL ESQUISSE MÊME UN FORMALISME MATHÉMATIQUE POUR DÉCRIRE LA RÉFLEXION ET LA RÉFRACTION DE LA LUMIÈRE »

Azzedine Boudrioua, physicien à l'université Sorbonne Paris Nord

PICTURES FROM HISTORY / BRIDGEMAN IMAGES

Première représentation connue de l'œil, reproduite au XII[e] siècle à partir d'un manuscrit du IX[e] siècle dont l'auteur est Hunayn ibn Ishaq (808-873). Éminent traducteur d'ouvrages médicaux grecs en syriaque et en arabe, établi à Bagdad, il est également auteur du plus ancien manuel d'ophtalmologie, *Dix Traités sur l'œil.*

(490-570). Ce théologien chrétien grec n'acceptait pas l'explication avancée par Aristote pour justifier qu'un caillou lancé poursuit sa trajectoire alors qu'aucune action ne s'exerce plus sur lui : la pierre, en se déplaçant, créerait un espace derrière elle qui, en se comblant, exercerait une poussée sur l'objet. L'hypothèse de Philopon est que l'action initiale transmet un élan – l'*impetus* –, qui permet la poursuite du mouvement, celui-ci perdant progressivement de la vigueur. Avicenne postule que c'est l'air qui affaiblit le déplacement et que, dans le vide, le mouvement ne serait pas ralenti. Un premier pas dans la définition de l'inertie, repris en Europe au XIV[e] siècle.

À partir du XIII[e] siècle, les ouvrages des intellectuels du monde musulman vont se diffuser dans toute l'Europe, après avoir été traduits de l'arabe vers le latin, et inspirer les Occidentaux. Ainsi, sur les traces d'al-Kindi et d'Alhazen, les Anglais Robert Grosseteste (1175-1253) puis Roger Bacon (1219-1292) *(lire aussi p. 26-29)* vont consacrer l'optique en tant qu'outil fondamental d'étude de la nature. Grosseteste suggère, pour la première fois, que l'arc-en-ciel est le résultat de la réfraction de la lumière dans les gouttes d'eau. Mais il faut attendre le tout début du XIV[e] siècle, et les travaux du Saxon Dietrich von Freiberg (1250-1311), pour découvrir une description complète du phénomène. *« Il a réalisé de nombreuses expériences avec des prismes et des clepsydres de verre remplies d'eau,* décrit Mathieu Husson. *Il explique l'ordre des couleurs de l'arc-en-ciel principal, et pourquoi il est inversé dans l'arc secondaire* (plus grand et surtout moins lumineux, donc plus difficile à observer, *ndlr*). *Le tout de manière mathématique, en calculant la position du phénomène au-dessus de l'horizon en fonction de celle du Soleil. Sa théorie de l'arc-en-ciel est – à peu de chose près – celle aujourd'hui universellement admise. »*

En 1269, un premier traité sur le fonctionnement de la boussole

L'étude du mouvement progresse, elle aussi, de manière spectaculaire au XIV[e] siècle. D'abord avec le Français Jean Buridan (1301-1359 ou 1362), qui revient sur l'*impetus*. Il propose l'hypothèse selon laquelle cet élan dépend à la fois de la vitesse initiale et de la quantité de matière que contient l'objet. Puis Nicole Oresme (1320-1382), Français également, esquisse une représentation mathématique – géométrique – de la trajectoire des objets en mouvement. Il détermine alors, par le calcul, que la distance parcourue par un objet en mouvement rectiligne uniformément accéléré – par exemple la chute d'un objet – est proportionnelle au carré du temps. Loi qui sera vérifiée expérimentalement par Galilée, au XVII[e] siècle.

Le Moyen Âge témoigne aussi des premières tentatives de compréhension du magnétisme, notamment par le Français Pierre de Maricourt, alias Petrus Peregrinus. On ne sait pas grand-chose de lui, si ce n'est qu'il est métallurgiste et qu'il rédige, en 1269, le premier traité sur les aimants, sous la forme d'une lettre adressée à un certain « Sygerus de Foucaucourt, soldat », probablement rédigée alors que Peregrinus participe au siège de Lucera par Charles I[er] d'Anjou, en Italie. À l'époque, ◆◆◆

PHOTO12/ALAMY/ART COLLECTION

Dans son *Traité sur l'arc-en-ciel*, Dietrich von Freiberg (1250-1311) montre comment les rayons lumineux émanant du Soleil (en haut à gauche) se réfractent dans une goutte de pluie (à droite).

◆◆◆ la boussole est connue, mais son fonctionnement reste mystérieux. À force d'expériences, Peregrinus remarque qu'un aimant possède deux pôles qu'il baptise Nord – celui qui se tourne naturellement vers le Nord du ciel – et Sud pour le côté opposé. Puis il explique comment déterminer chacun de ces pôles, en plaçant un aimant dans un plat surnageant à la surface d'un récipient d'eau, et en observant l'orientation prise par ce flotteur. Le savant décrit aussi l'attraction et la répulsion entre pôles et constate qu'un morceau de fer se magnétise au contact d'un aimant. Enfin, il présente le dessin d'un compas « sec », formé d'une aiguille posée sur une pointe, d'usage plus pratique en navigation que les boussoles de l'époque. C'est probablement le premier exemple, en Occident, de démarche scientifique s'appuyant sur l'expérience pour nourrir un raisonnement et même en donner des applications pratiques.

Azzedine Boudrioua, « L'optique arabe de la période médiévale », *Photoniques*, n° 79 (2015) https://sciav.fr/photoniques

Les outils des mathématiques appliqués à l'étude de la nature

À l'université d'Oxford (Angleterre), au XIV^e^ siècle, apparaît un courant qui va se distancier des démarches expérimentales pour se focaliser sur l'application des mathématiques à la philosophie naturelle. On y trouve notamment Thomas Bradwardine (1300-1349), William Heytesbury (1313-1373), Richard Swineshead (mort en 1354) et John Dumbleton (1310-1349). *« On les appelle les calculateurs*, raconte Sabine Rommevaux-Tani, directrice de recherches CNRS à l'université Bordeaux-Montaigne. *Ce courant a soigneusement appliqué les outils de la logique et des mathématiques – notamment la théorie des proportions – à l'étude de la nature. »* Ils étudient ainsi le mouvement, les transformations comme l'échauffement. En 1335, Heytesbury va, par exemple, énoncer le théorème de la vitesse moyenne, qui stipule qu'un objet accéléré d'une vitesse initiale à une vitesse finale parcourt, dans un temps donné, la même distance qu'un objet non accéléré se déplaçant à la moyenne entre ces deux vitesses. Théorème qui sera démontré par Nicole Oresme. *« La démarche des calculateurs d'Oxford va essaimer dans toute l'Europe, et permettre l'émergence de la physique classique. »*

Les XIII^e^ et XIV^e^ siècles sont aussi le moment où les philosophes revendiquent leur pensée en tant que telle, tout en tentant de concilier leur démarche avec la religion. *« D'une certaine manière, on peut dire que si Dieu apparaît, il est relégué à une sorte de condition initiale*, résume l'historienne. *Ainsi, quand il s'agit de questionner Aristote lorsqu'il affirme que le vide n'existe pas dans la nature, on commence par dire* "Imaginons que Dieu a créé le vide", *pour ensuite dérouler le raisonnement. »* Cette période est aussi celle des expériences de pensée. *« On parle souvent de physique imaginaire. De nombreux textes contiennent l'expression* "secundum imaginationem" *– selon l'imagination –, par exemple en supposant qu'un trou traverse la Terre de part en part pour réfléchir à ce qu'il advient d'une pierre qu'on jetterait dedans. »* Expérimentation, mathématisation, esprit critique… Tout est prêt pour la physique des siècles à venir. **DENIS DELBECQ**

◈ IDÉE REÇUE ◈

Au Moyen Âge, les gens étaient sales

Crasseux et pouilleux, le peuple médiéval ? Que nenni ! L'hygiène n'a pas reculé au Moyen Âge, affirme la médiéviste Marilyn Nicoud. Il s'agit plutôt d'un changement de pratiques lié entre autres à la disparition des thermes et à la position ambiguë de l'Église sur les bains publics – ou étuves – qui étaient également des lieux de sociabilité… et plus si affinités. Les populations savent parfaitement qu'une bonne santé est liée à l'hygiène. Les sources témoignent d'une fréquentation courante et régulière (une fois par semaine) des bains, qu'ils soient publics – on en compte vingt-six à Paris à la fin du XIII^e^ siècle – ou privés, pour les plus fortunés. Quant à la toilette quotidienne, elle figure d'ailleurs parmi les règles rappelées par les médecins dans les nombreuses « diètes ». On se lave corps et cheveux avec du savon animal ou végétal incorporant parfois des cendres. Et l'on utilise des dentifrices à base de corail en poudre et d'os de seiche pour se blanchir les dents. **VINCENT REA**

PORTRAIT

Regiomontanus, savoir et faire savoir

Johannes Müller von Königsberg n'aura vécu que quarante ans, mais il n'aura pas perdu son temps. Considéré aujourd'hui comme l'un des astronomes les plus importants du XV^e siècle, il ajouta à ce titre de gloire celui de créateur d'une maison d'édition. Son nom est fort logique puisque son père était meunier (*Müller* en allemand), et qu'il vit le jour à Königsberg (la « *montagne du roi* »), en Bavière. Mais il signait ses textes « Joannes de Monte Regio », en latin, sans savoir que son nom serait commué en « Regiomontanus » bien après sa mort.

Né en juin 1436, il est si précoce que sa famille – aisée – l'envoie à l'université de Leipzig alors qu'il n'a pas encore 12 ans. Il y démontre instantanément son talent prodigieux pour le calcul : alors que Gutenberg vient d'imprimer les éphémérides de 1448, donnant la position bimensuelle des planètes, le gamin rédige à la main son propre almanach, avec des données plus précises et quotidiennes !

En 1450, l'adolescent rejoint l'université de Vienne (Saint-Empire romain germanique) où il doit patienter jusqu'à ses 21 ans pour obtenir son diplôme, en vertu du règlement de l'établissement. Il étudie la trigonométrie et l'astronomie avec son mentor Georg von Peuerbach (1423-1461), puis est appelé à Rome par le cardinal Bessarion, légat du pape. Là, en 1464, il publie *De triangulis omnimodis libre quinque*, l'un des premiers ouvrages européens de trigonométrie, riche d'une table des sinus avec une précision de sept chiffres.

Après Rome, puis la cour de Hongrie, Regiomontanus part à Nuremberg en 1471 où, avec l'appui de Bernhard Walther, riche commerçant passionné d'astronomie, il construit un observatoire et se dote d'une presse d'imprimerie. C'est la première maison d'édition scientifique de l'histoire. En 1472, le premier ouvrage est une recension du cours d'astronomie dispensé à Vienne par Georg von Peuerbach. Le second est une longue liste de textes à paraître, avec des écrits de Ptolémée, Euclide et Archimède, mais aussi de Regiomontanus.

BRIDGEMAN IMAGES

Johannes Müller von Königsberg (1436-1476), connu sous le nom de Regiomontanus, est un astronome, mathématicien et astrologue allemand. Gravure du XIX^e siècle.

Neuf livres seulement verront le jour, dont les volumineuses éphémérides de Regiomontanus – 896 pages – qui décrivent, jour par jour, les positions des planètes et de la Lune pour les années 1484 à 1506. L'ouvrage explique aussi comment la position relative de la Lune vis-à-vis d'autres objets célestes permet de déterminer la longitude du point d'observation. Cette « méthode des distances », encore imprécise et qui demande des calculs complexes, semble avoir été utilisée par Christophe Colomb et Amerigo Vespucci lors de leurs périples maritimes. Améliorée à partir du XVI^e siècle, elle fera le bonheur de nombreux explorateurs jusqu'à la généralisation des chronomètres de marine, au milieu du XIX^e siècle.

Revenu à Rome en 1475, pour travailler sur la réforme du calendrier voulue par le pape Sixte IV, Regiomontanus meurt en juillet 1476. Des auteurs ont suggéré qu'il aurait été empoisonné par les fils du philosophe Georges de Trébizonde, parce qu'il avait critiqué la traduction de l'*Almageste* de Ptolémée faite par leur père en 1450. Regiomontanus a plus vraisemblablement succombé à la peste. **D. DQ**

Les curieuses espèces du bestiaire médiéval

BRITISH LIBRARY / KHARBINE / LA COLLECTION

Supports d'un discours moralisant, les bestiaires sont au début du Moyen Âge destinés avant tout à indiquer au chrétien le chemin du salut. Jusqu'à ce que des savants regardent les animaux d'un autre œil, celui du zoologiste.

Pourquoi étudier les animaux ? À cette question, jusqu'au début du XIIIe siècle, érudits et prédicateurs répondent : pour sauver les humains ! L'objectif principal est en effet, à cette époque, de tirer de cette connaissance des exemples permettant de développer des allégories moralisatrices. Une partie de ce savoir est popularisée dans les bestiaires, des ouvrages dont le discours, *« partant d'observations ou de croyances concernant tel ou tel animal, […] procède par comparaisons, métaphores, étymologies ou similitudes pour se livrer à des considérations morales ou religieuses »*, expliquent les historiens Michel Pastoureau et Élisabeth Delahaye. Ces recueils ont un grand succès, en particulier aux XIIe et XIIIe siècles. Ils décrivent le comportement des animaux et leur principale « nature » afin d'en tirer un enseignement. *« Une "nature", c'est une propriété centrale qui caractérise l'animal et dont on peut tirer un symbole spirituel,* explique Isabelle Draelants, médiéviste et directrice de recherche à l'Institut de recherche et d'histoire des textes. *Par exemple, on dira que l'éléphant est chaste car il ne s'accouple que très rarement : il est l'image même de la chasteté. »*

Pour rédiger leurs ouvrages, les auteurs s'inspirent de la Bible, des Pères de l'Église comme Augustin, mais aussi d'auteurs païens : Pline et son *Histoire naturelle* (Ier siècle), ou encore le compilateur Solin, qui a rédigé une

Des abeilles rentrent à la ruche. Miniature tirée d'un bestiaire médiéval, manuscrit anglais produit vers 1210.

Collection de choses remarquables (IIIe siècle). Parmi ces sources, deux ouvrages ont une immense influence. Le premier est le *Physiologus* (*Naturaliste*), dont l'auteur reste anonyme, probablement écrit à Alexandrie vers le IIe ou le IIIe siècle. Michel Pastoureau le considère comme *« le père de la plupart des bestiaires médiévaux »*. Cet ouvrage, qui décrit une quarantaine d'espèces, des quadrupèdes aux oiseaux, comporte déjà de nombreux éléments allégoriques. Petit à petit, il va remplacer les textes antiques de biologie ou de zoologie, qui disparaissent en Occident à la fin de l'Antiquité, au premier rang desquels les écrits d'Aristote. Si le *Physiologus* n'est pas perdu, c'est qu'il semble destiné à un public différent de celui des érudits : les moines.

Michel Pastoureau, *Bestiaires du Moyen Âge*, Seuil, 2024

Autre ouvrage de référence, les *Étymologies* d'Isidore de Séville (560-636), rédigé en 622. Cet évêque, né dans le sud de l'Espagne, une région où la civilisation antique a été préservée, reprend souvent Pline et même quelques éléments d'Aristote. *« Comme son livre est bien composé, avec des chapitres courts, il va être très diffusé et utilisé. Par exemple, la quarantaine d'insectes qu'il décrit demeurera la même dans les textes savants jusqu'en 1200 environ »*, souligne Isabelle Draelants.

Contrairement à l'idée répandue, les autruches ne mangent pas de fer

Du VIIe au XIIIe siècles, une réalité qui n'est pas évoquée dans la Bible intéresse peu les érudits. Cette révérence pour le Livre par excellence s'étend à tout ce qui est écrit. *« On considère tous les textes, même profanes, comme dotés d'une grande autorité, ce qui provoque une espèce de dissociation cognitive par rapport au réel »*, explique la médiéviste. Raison pour laquelle les premières illustrations d'animaux n'ont parfois rien à voir avec ce que leurs auteurs pouvaient observer. *« Il ne faut pas croire que c'est de la naïveté ou de la bêtise : cela fait partie d'un monde de représentations mentales qui est un peu dissocié du quotidien. »*

Au début du XIIIe siècle, tout change. *« Il va y avoir une explosion de la connaissance savante sur les animaux »*, résume Isabelle Draelants.

Et ce, dès 1210 environ, quand le philosophe écossais Michael Scot (1175-1232) traduit en latin, sous le titre *De animalibus*, une version arabe des trois livres de zoologie d'Aristote. Le siècle va devenir alors celui des grands encyclopédistes. Parmi eux, Thomas de Cantimpré (1201-1270), un dominicain des Flandres. *« Après avoir lu la traduction d'Aristote, il va complètement repenser son ouvrage, rédigé entre 1230 et 1255*, explique Brigitte Gauvin, maîtresse de conférences à l'université de Caen Normandie. *Il ajoute d'autres animaux et de nouvelles informations. Le propos encyclopédique évolue. Tout à coup, avec Aristote, cela devient de la zoologie. »* L'animal change de statut : *« Auparavant prétexte soit à l'étonnement soit à la moralisation, on le considère pour la première fois comme objet de savoir en lui-même. »* Appartenant à la même génération, l'encyclopédiste Vincent de Beauvais (vers 1190-1264) est l'un des premiers à accorder du crédit à ses propres observations, et pas seulement aux auteurs du passé. Il cite ses sources en début de paragraphe : Isidore ou Pline, par exemple. Mais aussi *« actor »* (auteur), pour bien indiquer qu'il est lui-même à l'origine de l'information.

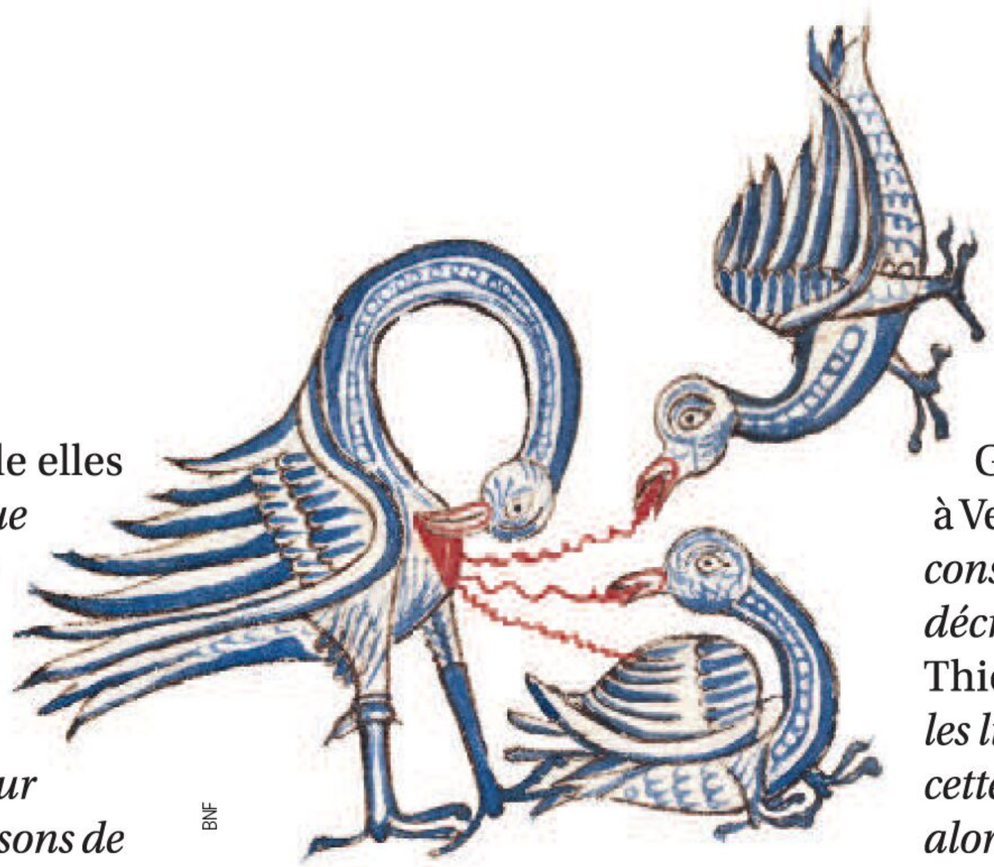
Enfin, le philosophe allemand et dominicain Albert le Grand (1200-1280) écrit vers 1250 le plus grand traité médiéval sur les animaux (*De animalibus*). Dans son œuvre, il va jusqu'à remettre en question le savoir des Anciens au regard de ce qu'il constate. Thierry Buquet, historien spécialiste des animaux exotiques, rappelle qu'il a vu des autruches et testé l'idée, répandue à ◆◆◆

BRIGITTE GAUVIN

« JUSQUE-LÀ PRÉTEXTE À L'ÉTONNEMENT OU À LA MORALISATION, L'ANIMAL EST CONSIDÉRÉ POUR LA PREMIÈRE FOIS, À PARTIR DU XIIIE SIÈCLE, COMME OBJET DE SAVOIR EN LUI-MÊME »

Brigitte Gauvin, maîtresse de conférences, université de Caen

◆◆◆ l'époque, selon laquelle elles mangeaient du fer. *« Il explique qu'elles n'en mangent pas ! »* Un peu plus loin, après avoir longuement décrit le cète (la baleine), Albert écrit : *« Voilà ce que nous avons constaté sur la nature des cètes, et nous laissons de côté ce qu'ont écrit les Anciens puisque leurs propos ne concordent pas avec les constatations faites sur le terrain. »* Affirmer que les Anciens se trompent : *« C'est vraiment une révolution épistémologique »*, conclut Brigitte Gauvin.



BNF

D'après les bestiaires, le pélican nourrit ses petits avec son sang. Hugues de Fouilloy, *De avibus*, XII^e siècle.

Zoom sur quatre animaux emblématiques des bestiaires

Le pélican, image du Christ

Dans ses *Étymologies*, Isidore de Séville écrit : *« On raconte, si cela est vrai, qu'il tue ses petits, les pleure pendant trois jours puis se fait une blessure et ressuscite ses petits en les aspergeant de son sang. »* Il devient donc un symbole de charité, d'amour… l'image même du Christ qui a versé son sang sur la Croix.

Le lion vigilant

Le lion est présent dans les ménageries occidentales depuis au moins l'époque carolingienne – Charlemagne possédait un éléphant, un lion, des singes… L'une des croyances qui lui sont associées explique qu'il dort les yeux ouverts : il devient alors un symbole de vigilance. On croit aussi que les lionceaux naissent morts et que leur père les ressuscite trois jours plus tard : le lion symbolise donc également la résurrection. Cependant, en observant ces fauves dans des ménageries, certains poètes et érudits comme maître Giovanni, enseignant de grammaire à Venise, se posent des questions. *« Ils constatent que la réalité n'est pas celle décrite dans les bestiaires,* souligne Thierry Buquet. *Ils voient bien que les lionceaux naissent vivants. Face à cette contradiction, ils se demandent alors si la nature a changé son cours, ou bien si cela tient du prodige. »* Le chancelier Tanto, à Venise, écrit ainsi : *« Ô vous qui avez si souvent décrit la nature du lion, ajoutez : cette loi ne s'applique pas à Venise. »*

L'abeille industrieuse

L'abeille appartient à la catégorie des « vermes » (vers) : des animaux rampants dont la principale propriété est qu'ils naissent dans la pourriture, des asticots aux escargots en passant par les crapauds ou les criquets. Ils sont souvent considérés comme des plaies ou des animaux inachevés. L'abeille et la fourmi occupent toutefois une place à part : *« Dans un monde très hiérarchisé,* explique Isabelle Draelants, *la société productrice de miel des abeilles, elle aussi hiérarchisée et industrieuse, est un modèle pour les humains. »*

La girafe mystérieuse

La girafe est rare en Occident au Moyen Âge : on n'a la trace que de trois individus au XIII^e siècle. Les médiévaux connaissent pourtant cet animal grâce à la Bible, où figure la *camelopardalis* (chameau-léopard). Pline l'évoque également dans son *Histoire naturelle, « mais cette courte notice ne mentionne ni la longueur du cou, ni la taille de l'animal, ce qui ne permet pas aux savants de faire le lien avec les quelques vraies girafes importées en Europe »*, explique Thierry Buquet. Au XIII^e siècle, Thomas de Cantimpré rédige à son propos une notice sur la *camelopardalis,* pour laquelle il cite le commentaire de la Bible ; et, un peu plus loin, une autre sur l'*oraflus,* un nom dérivé de l'arabe *zarâfa* ! Pour l'*oraflus,* il donne une assez bonne description d'une « vraie » girafe. Mais en a-t-il réellement vu ? Mystère… **MARIKA JULIEN**

À l'aube de la pensée écologique

Alors qu'aujourd'hui, nous opposons nature à « culture » ou à « humain », dans l'Occident médiéval, *« l'opposition se marque surtout par rapport au supranaturel ou surnaturel – les anges, les phénomènes considérés comme divins car inexpliqués »*, décrit Nicolas Schroeder, médiéviste spécialiste de l'environnement à l'Université libre de Bruxelles. Le monde est tel que Dieu l'a créé lors de la Genèse. Les lois divines dictent le comportement des animaux, la croissance des plantes, le mouvement des astres, etc. *« Seule une intervention de Dieu peut casser l'ordre naturel. Quant à l'humain, il a une place centrale, puisqu'il fait partie de la Création et que le monde lui a été confié. »* L'historien rappelle que le rapport que la population médiévale entretient avec le vivant et la nature ne peut être comparé au nôtre. *« La grande majorité de la population vit en proximité avec l'espace naturel. Au Moyen Âge, vous vous endormez dans la même pièce qu'un bœuf. »* Il faut pourtant se méfier d'une supposée connivence parfaite entre humains et nature. *« Le Moyen Âge pollue, les systèmes agraires sont très marqués par la dégradation des terrains et la déforestation. »* En parallèle naît une pensée qu'on peut qualifier déjà d'écologique. Selon l'historien Thomas Labbé, de l'université de Bourgogne, il existe une compréhension mécaniste de la pollution et de la dégradation des sols, liée à l'agriculture et à la déforestation. Une pensée qui est la matrice de l'écologie d'aujourd'hui, même si, à cette époque, un événement tel qu'une inondation est également le signe d'un châtiment divin. **SYLVIE NADIN**

SSPL/LA COLLECTION

Du zéro à l'algèbre, la puissance du calcul indo-arabe

Fidèle aux chiffres romains, l'Occident attendra le XVIe siècle pour adopter la numération décimale de position, un système dont la redoutable efficacité révolutionnera les mathématiques.

Jusqu'au XVIe siècle, en Europe, les mathématiques ressemblent à un désert de cailloux. En effet, les calculs (le mot latin *calculus* signifie caillou) s'effectuent sur des abaques – sorte de machines à calculer –, sur lesquels les experts en calcul « jettent » des pierres (des jetons), puis les arrangent suivant les opérations arithmétiques qu'ils effectuent. Et cela en numération romaine, avec ses I, V, X, L, C, D et M.

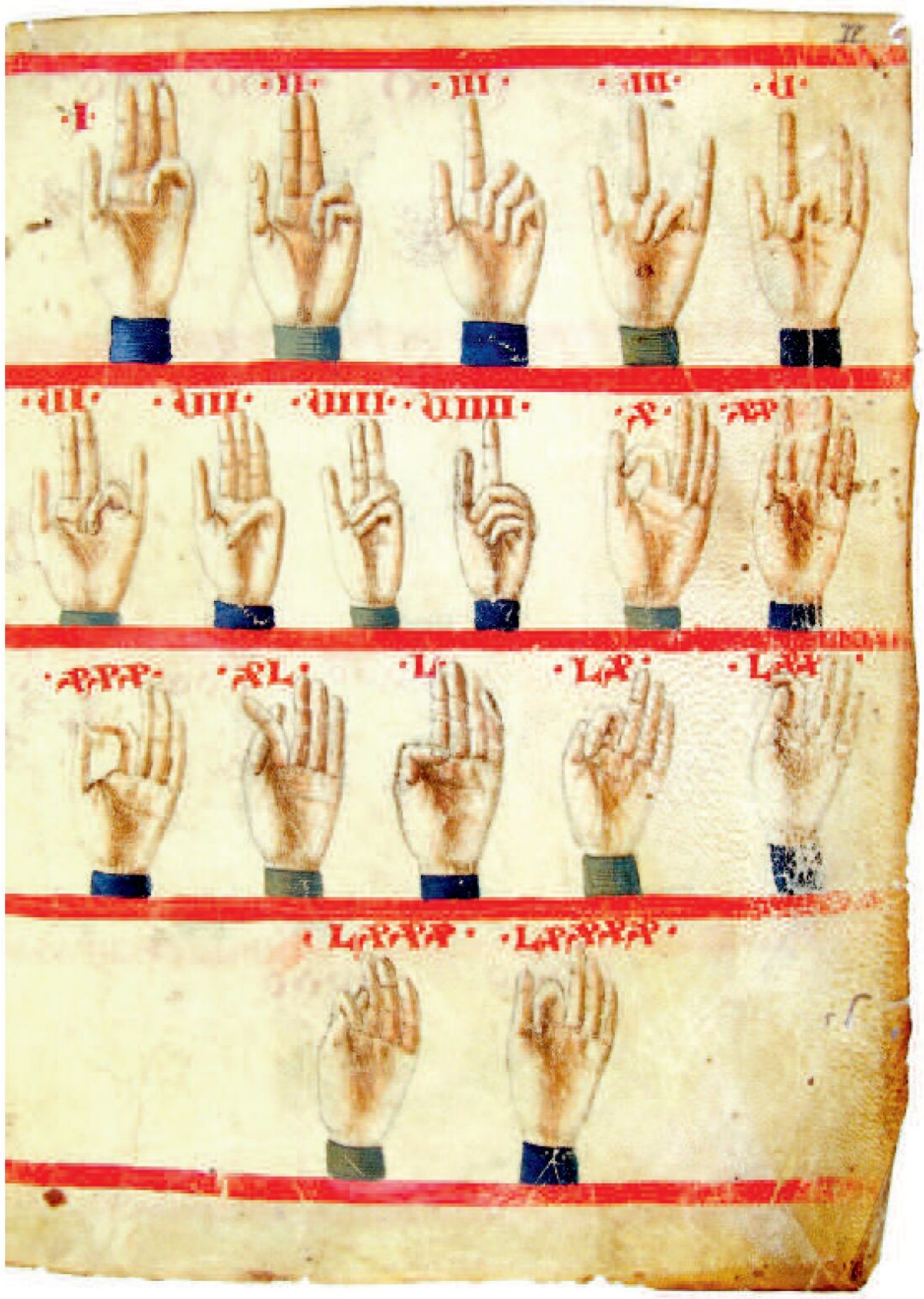
Représentation fautive du XVe siècle de l'Arithmétique entre Pythagore, muni d'un abaque, et Boèce, utilisant des chiffres arabes.

Pourtant, la numération que nous utilisons naturellement aujourd'hui – la numération décimale de position – est établie depuis longtemps en Inde. Les chiffres de 1 à 9, issus de l'écriture *brahmi* – le plus ancien système d'écriture indien – sont déjà attestés dans les écrits rédigés au temps du célèbre empereur Ashoka, vers 250 avant notre ère. En 628, dans son ouvrage *Brahmasphutasiddhanta*, l'astronome indien Brahmagupta explique comment, dans un nombre, chaque position d'un chiffre est reliée à la position voisine par une multiplication par 10. Il introduit le chiffre zéro, qui ne symbolise plus seulement l'absence mais devient un opérateur à part entière – c'est-à-dire que, placé à côté d'un autre chiffre, il le multiplie par 10.

Le zéro, chiffre du diable et du néant, honni par l'Église

Les Indiens transmettent cette nouvelle façon de compter aux mathématiciens des pays d'Islam. Le premier à évoquer ces nouveaux chiffres est l'astronome syrien Sévère Sebokht, au début du VIIe siècle, mais aucun de ses textes ne nous est parvenu. En revanche, de nombreuses traductions latines ont circulé du livre sur le calcul indien du Perse Muhammad Ibn Musa al-Khwarizmi, qui décrit ces chiffres entre 813 et 833. Dans l'Espagne musulmane, la numération décimale de position est mentionnée en 976, dans une copie anonyme d'un texte d'Isidore de Séville, auteur d'une encyclopédie des savoirs depuis l'Antiquité jusqu'à son temps, le VIIe siècle. Quelques années plus tard, le moine Gerbert d'Aurillac – qui deviendra pape en 999 sous le nom de Sylvestre II – découvre ces chiffres indo-arabes ◆◆◆

◆◆◆ et invente un abaque à colonnes utilisant les nouveaux symboles. Toutefois, il n'utilise pas le zéro, le chiffre du diable représentant le néant, honni par l'Église. C'est une première apparition en Europe, mais qui n'est pas suivie d'effets.



AMBROSIANA/AME/OPALE.PHOTO

***Le Livre des calculs* (1202),** de Leonardo Fibonacci. Le Pisan, qui fit largement connaître en Europe la numération décimale, y énonce la suite mathématique qui portera son nom. Ici, illustration du calcul digital. Manuscrit du XV^e^ siècle.

Léonardo Fibonacci, les lapins et le nombre d'or…

En Orient cependant, les avancées se sont avérées fécondes. Non seulement Al-Khwarizmi décrit des opérations sur des nombres connus, mais il élabore une méthode pour rechercher des inconnues par opérations successives, ce que plus tard on nommera algorithme, terme issu de la transcription phonétique de son nom en latin. C'est le début de l'algèbre. *« L'algèbre ne serait pas devenue ce qu'elle est sans la numération décimale de position »*, affirme Marc Moyon, professeur d'histoire des mathématiques à l'université de Limoges.

Avant l'an mil, alors que les mathématiques sont florissantes en terre d'Islam, elles apparaissent très pauvres en Occident chrétien. Seuls les écrits de Boèce (480-524), ministre puis victime du roi ostrogoth Théodoric, nous sont parvenus avec son *Institution arithmétique,* une adaptation du texte de Nicomaque de Gérase, mathématicien et philosophe du II^e^ siècle, sur les nombres vus sous l'angle de Pythagore, pour qui ceux-ci sont l'essence des choses. Dans son texte, Boèce met en forme le *quadrivium*, ensemble de quatre disciplines – l'arithmétique, la musique, la géométrie et l'astronomie –, qui sera enseigné dans les universités à partir du XIII^e^ siècle. Un autre texte a résisté au temps, celui d'Alcuin, conseiller de Charlemagne, qui publie vers l'an 800 un recueil de 52 exercices mathématiques *« pour affûter l'esprit des jeunes »*. Mais hormis ces deux personnages, le monde mathématique médiéval est vide. La faute à la persistance du comptage en numération romaine ?

« Jusqu'au XVI^e^ siècle, tous les calculs de comptabilité ou de commerce ont continué à se faire à l'aide d'abaques et de numération romaine, signale Marc Moyon. *Seuls quelques érudits ont utilisé la numération décimale indo-arabe. »* Ce sont eux qui vont poser les jalons des mathématiques de la Renaissance puis du monde contemporain. Parmi eux, Leonardo Fibonacci, dit Léonard de Pise, qui, à la toute fin du XII^e^ siècle, suit son père, haut dignitaire du service des douanes de la république maritime de Pise, à Bejaïa (Algérie). Il y découvre avec émerveillement la numération indo-arabe. De retour en Italie, il se consacre

◈ IDÉE REÇUE ◈

L'Église, ennemie de la science

L'association du Moyen Âge avec la notion d'obscurantisme s'établit à la Renaissance, dont le nom même indique qu'elle succède à une période considérée comme étant peu digne d'existence. Avant même le siècle des Lumières et les accusations de Voltaire contre l'Église médiévale qui aurait, selon lui, réduit au silence le savoir scientifique, de nombreuses figures dépeignent alors le Moyen Âge comme un temps de barbarie, une période « moyenne » située entre deux âges d'or, l'Antiquité et la Renaissance. Une période dominée par une Église toute-puissante, véhiculant l'ignorance. Or, c'est nier les avancées techniques et scientifiques qui y ont vu le jour *(lire aussi p. 60-65)* telles l'amélioration et la démocratisation des moulins ou l'invention des lunettes, pour ne citer que quelques exemples, que l'Église n'a jamais entendu combattre. Ou, dans le domaine plus délicat de la connaissance, l'institution des premières universités, avec leurs disputes acharnées… qui ont permis aux savants, souvent hommes d'Église, de faire progresser la science. **SYLVIE NADIN**

aux mathématiques, sans qu'on sache comment il en apprend les techniques, peut-être dans une des premières écoles d'abaque (de calcul), comme c'est l'usage à l'époque, et non dans une université, où l'on enseigne la géométrie euclidienne et l'arithmétique théorique. Le calcul et l'algèbre sont considérés quant à eux comme un art libéral, au même titre que la grammaire ou la rhétorique. Le plus célèbre de ses travaux est le *Liber abaci (Le Livre des calculs),* écrit en 1202. Il y énonce un problème qui l'amène à considérer une suite de nombres où chaque nouvelle valeur est la somme des deux précédentes. Il décrit cette série de nombres à partir de couples de lapins qui enfantent chaque mois un autre couple, chaque jeune lapin n'atteignant sa maturité sexuelle qu'au bout d'un mois. Cette suite (1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, etc.), est remarquable, car plus le nombre est élevé, plus le rapport entre deux termes successifs tend vers le nombre d'or – 1,6318, qui définit la *« divine proportion »* –, utilisé en architecture. Mais l'avancée conceptuelle est encore plus déterminante. *« Par sa démonstration, qu'il termine par* "et ainsi de suite, jusqu'où on veut", *on peut parler de première modélisation mathématique, même si elle n'est pas complète car des lapins peuvent mourir, être malades ou infertiles, ce qui influe sur le résultat »*, admet Marc Moyon.

SCIENCE PHOTO LIBRARY / TERRY SHEILA

Évolution de la numération à partir du Ier siècle, sur la base des travaux du philologue américain Isaac Taylor (1829-1901). Les chiffres arabes sont parvenus en Europe au XIIe siècle.

Du côté de la géométrie, le calcul des aires, qui va se transformer en calcul intégral, progresse aussi. Au milieu du XIVe siècle, Nicole Oresme, dans son *Tractatus de configurationibus qualitatum et motuum,* pose les bases du repère cartésien, avec le temps en abscisse et la vitesse en ordonnée. Il calcule alors la distance parcourue en fonction du temps dans un mouvement uniformément accéléré. Il se rend compte que cette distance est l'aire balayée sous la courbe de la vitesse. Il ne va pas plus loin dans la généralisation de ce principe du calcul intégral. Celui-ci sera mis finalement au point par Leibniz au XVIIe siècle, avec l'introduction des différentielles. *« Oresme a fait un pas en avant, mais pour parler de calcul infinitésimal et intégral, il faut maîtriser la notion de tangente, qu'il n'a pas abordée »*, remarque la Canadienne Amélie Compagna, professeure à l'université Laval (Canada). C'est René Descartes, au XVIIe siècle, avec sa méthode analytique, et le mathématicien anglais Isaac Barrow, avec une méthode géométrique, qui apporteront une contribution décisive à l'élaboration de ce calcul infinitésimal et intégral. Mais on est déjà sorti du Moyen Âge...

JACQUES-OLIVIER BARUCH

Georges Ifrah, *L'Histoire universelle des chiffres,* Robert Laffont, coll. Bouquins, 1994

Katie Steckles, *Les bases de l'algèbre,* Delachaux et Niestlé, 2025

Podcasts
« Sciences et Moyen Âge, épisode 2 : les mathématiques », Passion Médiévistes (avec Marc Moyon) https://sciav.fr/medievistes

« Fibonacci, une suite qui vaut de l'or », La Méthode scientifique, France Culture https://sciav.fr/fibonacci

Des symboles pour penser l'algèbre

L'introduction de la numération décimale de position fut le premier pas vers l'emploi de symboles en mathématiques. Pendant longtemps, cependant, les techniques mathématiques ont été décrites uniquement en mots. Brahmagupta écrit ses énoncés en vers, selon la tradition. Dans son algèbre, Al-Khwarizmi utilise des phrases et des mots – comme tous les auteurs du Moyen Âge, jusqu'au XVIe siècle au minimum. Les symboles vont aider à penser l'algèbre. Cela va commencer en terre d'Islam par les inconnues. Chez Al-Khwarizmi, le carré de l'inconnue est le *mâl,* représenté plus tard au Maghreb par la lettre « *m* ». L'inconnue elle-même est le *shay,* raccourci en « sh », qui se transforme en *xay* dans l'Espagne arabe, simplifié en « x ». Les auteurs de culture latine, comme en témoigne un texte du XIIe siècle, feront de même en simplifiant le mot « *census* » du carré de l'inconnue par la lettre « c », l'inconnue (« *res* » en latin) se réduisant à la lettre « r ». Ainsi « $3x^2 + 4x$ » s'écrira « 3c 4r ». Les valeurs sans inconnue (les unités) s'écriront toujours en lettres. Le passage vers la notation symbolique actuelle mettra quelques siècles à se mettre en place. François Viète (1540-1603) reprend les symboles de l'Espagne arabe pour l'inconnue, « x », et institue les lettres suivantes de l'alphabet pour les autres (« y », « z »). Il introduit de plus des symboles pour les coefficients, qu'il choisit de représenter par les premières lettres de l'alphabet. Comme aujourd'hui encore.

En Europe, une astronomie à courte vue

Tandis que l'Orient rédige des traités sur les astres et conçoit de nouveaux instruments, l'Occident, convaincu par Aristote que le monde céleste est immuable, prend le parti de s'en désintéresser. Une inertie intellectuelle qui ne prendra fin qu'au XV^e^ siècle.

« Nous l'avons observée plus de dix fois, elle brillait plus que toutes les étoiles; si elle n'avait pas été allongée, elle aurait été comme une autre lune; elle avait derrière elle une longue chevelure; les anciens en restent stupéfaits et déclarent qu'elle annonce de grandes choses… » En ce mois d'avril 1066, rapporte le chroniqueur Baudri de Bourgueil, les menaces d'invasion du territoire par la flotte de Guillaume de Normandie, futur Guillaume le Conquérant, se précisent. Et le passage d'une comète (dite « de Halley » quelques siècles plus tard) est perçu comme un signe funeste, annonciateur de catastrophes. Celles-ci ne vont pas tarder : le 14 octobre, le roi Harold, qui a été couronné en janvier, est tué à la bataille d'Hastings. La Tapisserie de Bayeux le montre blessé à mort par une flèche qui lui traverse l'œil… Le royaume est livré aux Normands.

À cette période, l'Occident s'ouvre aux sciences. Mais rares sont les personnes capables de donner une explication rationnelle à un phénomène aussi impressionnant. Dans d'autres parties du monde, pourtant, l'apparition ne semble pas avoir suscité une telle frayeur. Il est vrai que l'astronomie y est parfois beaucoup plus développée. Dans l'Empire chinois et les mondes musulmans, les savants effectuent des relevés du ciel. Ce qui leur a permis, douze ans auparavant, en l'an 1054, de repérer une « nouvelle » étoile sur la voûte céleste : la supernova

BRIDGEMAN IMAGES

En 1066, le passage de la comète de Halley a été interprété comme annonçant des calamités en Angleterre… juste avant l'invasion du pays par Guillaume de Normandie. Tapisserie de Bayeux.

SN1054, dont ils ont suivi l'explosion, tout au long des deux années où elle fut visible à l'œil nu.

Rien de tel en Europe, où on en est encore à se réapproprier les savoirs perdus de l'Antiquité… dont il ne reste pas grand-chose. *« Le corpus de documents disponibles se résume, à la fin du VI^e siècle, à des extraits ou à des références dans des encyclopédies d'auteurs comme Martianus Capella, Boèce ou Isidore de Séville, qui restent souvent au niveau des généralités et s'embarrassent rarement de démonstrations et de calculs précis »*, explique Mathieu Husson, historien et chercheur CNRS à l'Observatoire de Paris-PSL. Seul a perduré le savoir-faire nécessaire à l'établissement du comput ecclésiastique – les dates du calendrier chrétien –, notamment du jour de Pâques. Ce dernier a beau avoir été défini, lors du concile de Nicée, en 325, comme le *« premier dimanche qui suit le quatorzième jour de la Lune qui atteint cet âge à l'équinoxe de printemps ou immédiatement après »*, il n'est pas déterminé sur la base d'observations. Mais par le biais d'un calcul destiné à replacer les dates d'un calendrier luni-solaire fictif adopté lors du concile dans le calendrier d'usage, dit julien. Ce système présente un défaut majeur : outre qu'il nécessite une méthode opératoire commune à tous les utilisateurs, il produit une dérive de la date de Pâques. À cause, entre autres, d'une différence de 11 minutes et 14 secondes entre les années solaire et julienne, la fête est entraînée par un mouvement qui, au fil des siècles, l'éloigne du moment de l'équinoxe de printemps : elle avance d'une dizaine de jours par millénaire. Un problème qui ne sera réglé qu'avec l'adoption du calendrier grégorien en 1582.

L'œuvre de Ptolémée traduite et actualisée à Bagdad

La lumière astronomique qui va éclairer l'Occident médiéval viendra d'Orient *(lire aussi p. 12-13)*. Sous les Omeyyades, *« des Maisons de la sagesse sont créées en vue d'étudier les textes des grands savants de l'Antiquité grecque et perse,* poursuit Mathieu Husson. *La plus illustre, installée à Bagdad, s'attelle à des traductions en langue arabe. Notamment du très fameux* Almageste *de Claude Ptolémée qui, écrit au II^e siècle à Alexandrie, compile l'ensemble des connaissances du monde hellénistique en matière d'astronomie mathématique »*. On ne se contente pas de s'imprégner de ce savoir. On cherche aussi à l'actualiser. En effet, la voûte céleste n'est pas immuable : *« Avec le temps, les étoiles se décalent sous l'effet des variations de l'orbite de la Terre et de son axe de rotation, faussant les cartes du ciel qui doivent être corrigées pour tenir compte de phénomènes comme la "précession des équinoxes" – la modification, d'une année sur l'autre, de la place occupée dans le zodiaque par le Soleil au moment de l'équinoxe de printemps. »*

Des *zij* (traités d'astronomie pratique) apparaissent, dont le *Zij al-Sindhind* au IX^e siècle. Rédigé par le grand mathématicien Al-Khwarizmi, ce dernier a été conçu sur la base d'observations réalisées à Damas et Bagdad. D'autres *zij* suivront, dont l'un, au X^e siècle, le *zij* d'al-Battani – mathématicien et astronome arabe –, basé sur une correction des tables dites « faciles » de Ptolémée, influencera considérablement l'Occident lorsqu'il sera découvert.

Entretemps, les Abbassides ont chassé du pouvoir les Omeyyades, qui se maintiennent dans le sud de l'Espagne et créent en 929 le califat de Cordoue. La ville-frontière de Tolède devient un centre culturel important, où marchands et moines-voyageurs d'Occident viennent chercher des nouveautés. D'abord, l'astrolabe, un instrument destiné à faciliter le calcul des constellations visibles ainsi que des heures de lever et coucher du Soleil et du crépuscule à une date donnée (et à n'importe quelle latitude si l'on dispose des tympans, ou pièces échangeables, adéquates). Puis, des *alchandreana,* des précis d'astrologie. Et enfin, à partir du XII^e siècle, des versions latines de manuscrits rapportés d'Orient par les Arabes, traduits localement. Les fameux *zij* d'Al-Khwarizmi et d'Al-Battani bien sûr. Mais aussi Aristote et l'*Almageste*. Ces textes et quelques autres constitueront des thèmes de discus- ◆◆◆

ERIC GARAULT/PASCOANDCO

« EN OCCIDENT, PERSONNE N'OBSERVE LA VOÛTE CÉLESTE. LES ASTROLOGUES SE CONTENTENT DE RÉALISER DES CALCULS SUR LA BASE D'INFORMATIONS TIRÉES DE TABLES ASTRONOMIQUES »

Denis Savoie, astronome et historien des sciences, chercheur associé à l'Observatoire de Paris-PSL

◆◆◆ sions approfondies quand les premières universités ouvriront leurs portes, au XIIIe siècle, contribuant à leur diffusion dans les cours d'Europe, notamment dans la perspective de développer l'astrologie. Car la mode est à la divination. Les puissants souhaitent montrer qu'ils contrôlent l'avenir, de même qu'ils maîtrisent le temps en installant des horloges sur les bâtiments publics. Et chaque cité d'importance se doit d'être capable de produire ses horoscopes.

NPL/OPALE.PHOTO

La sphère armillaire tenue par ce moine représente la sphère céleste selon le système géocentrique de Ptolémée. Extrait du *De Natura rerum* d'Albert le Grand, XIIIe siècle.

Faute de lunette astronomique, pas grand-chose à observer

Une activité qui – faut-il le préciser ? – ne va rien apporter à la science des astres. En effet, explique l'astronome et historien des sciences Denis Savoie, chercheur associé à l'Observatoire de Paris-PSL, *« en Occident, à cette époque, personne n'observe la voûte céleste. Pour déterminer la position d'une planète dans le zodiaque à une date donnée, les astrologues se contentent de réaliser un calcul sur la base d'informations tirées de tables astronomiques »*. Or, celles dont on dispose ont été transmises par les Arabes qui, eux-mêmes, les tiraient de savants de l'Antiquité grecque ayant vécu plus de mille ans auparavant ! Certes, elles ont été réactualisées. Aux XIe et XIIIe siècles, en Espagne, l'astronome arabe Azarchel et le roi Alphonse X s'y sont employés, donnant naissance respectivement aux célèbres tables de Tolède et tables alphonsines. *« Mais ces corrections n'ont pas nécessité des relevés du ciel très approfondis »*, note Denis Savoie. De fait, en l'absence de lunette astronomique, il n'y a pas grand-chose à voir… Aristote ayant qualifié le monde céleste d'immuable, les étoiles filantes, comètes ou autres objets intermittents sont classés, avec la Lune et la Terre, dans la catégorie des phénomènes « sublunaires », autrement dit terrestres. Ce qui ne laisse à contempler dans les cieux que le Soleil, les cinq planètes connues (Jupiter, Mercure, Vénus, Saturne et Mars) et les 3 000 étoiles fixes visibles à l'œil nu. Et encore, 1 000 d'entre elles figuraient déjà au catalogue de Ptolémée !

Pour secouer l'inertie, il faudra que des penseurs renversent les statues d'Aristote et de Ptolémée, avec leurs visions figées de l'Univers. Ce qui prendra du temps : *« Des manuels astronomiques aussi élémentaires que le* Traité de la Sphère *de Jean de Sacrobosco (1195-1256) vont continuer à circuler dans les universités européennes jusqu'au XVIIe siècle ! »*, insiste Denis Savoie. Le mouvement ne s'enclenchera qu'avec les travaux de Georg von Peuerbach (1423-1461) et de son élève Regiomontanus (1436-1476) *(lire aussi p. 35)*. Les deux mathématiciens vont réaliser une synthèse de l'*Almageste* à partir du texte grec. Avant de se livrer à un examen critique de la thèse sur le mouvement des planètes qui y est présentée. Pour le monde médiéval, accroché à l'objectif d'harmoniser la physique d'Aristote avec l'astronomie de Ptolémée, ces dernières sont attachées à des sphères cristallines qui, en tournant autour d'une Terre fixe, les entraînent, dessinant des trajectoires apparentes sur la voûte céleste. Peuerbach et Regiomontanus vont contribuer à déconstruire ce mythe. Ouvrant la voie à la théorie de l'héliocentrisme de Copernic.

VAHÉ TER MINASSIAN

◈ IDÉE REÇUE ◈

Au Moyen Âge, les gens étaient illettrés

Tout dépend de qui vous êtes, et à quelle période vous vivez ! Êtes-vous un homme, une femme, moins favorisée en ce domaine comme en tant d'autres ? Un aristocrate avec professeur particulier, un marchand qui doit faire ses comptes, un paysan ? Vivez-vous avant le XIIe siècle ? Les clercs, évidemment, notamment les moines, existent dans et par l'écrit, notamment latin. D'ailleurs, au XIe siècle, les laïcs sont parfois qualifiés, par opposition, d'*illiterati*, illettrés. Mais dès le siècle suivant, les textes se multiplient. Et la part de la population ayant rapport avec l'écrit s'accroît. L'historien Thomas Brunner a par exemple montré qu'à Douai, en 1200, il existait à côté des écoles latines destinées aux clercs plusieurs écoles paroissiales. À l'aube de la Renaissance, on estime que 20 à 30 % de la population saura lire. Certains n'ont avec les textes qu'un rapport utilitaire, sachant faire des comptes ou rédiger des lettres, mais non lire de longs textes. Par ailleurs, il est probable que nombre d'individus devaient apprendre de façon informelle et, souvent, savoir lire… mais non écrire. **FLORENCE LEROY**

Julien Véronèse
Maître de conférences en histoire médiévale à l'université d'Orléans

« La magie est parfois considérée comme une science »

JULIEN VÉRONÈSE

Loin des talismans et pratiques d'envoûtement de la magie traditionnelle, la *scientia magica* s'affirme à la fin du Moyen Âge comme un domaine du savoir qui se diffuse jusqu'aux cours princières.

Qu'est-ce que la magie au Moyen Âge ?
Dans sa forme la plus commune et ancienne, il s'agit de charmes ou d'amulettes (de simples formules à prononcer ou à porter sur soi), destinés à guérir ou protéger, par exemple les femmes enceintes. Leur usage est parfois justifié par les médecins, espérant renforcer la confiance du patient en leurs propres thérapeutiques.
Mais circulent aussi dans l'Occident latin, à partir du XII^e^ siècle, des textes qualifiés d'*ars magica* ou de *scientia magica*. Ils définissent des procédés beaucoup plus complexes et variés visant à influencer plus largement le monde et les hommes. Ils associent des incantations, des signes, des inscriptions.
Ils peuvent même amener à fabriquer des objets magiques pour s'attirer les faveurs des puissants.
Par exemple, au XIV^e^ siècle, l'archevêque d'Aix Robert de Mauvoisin, protégé du pape Clément V et en difficulté sous son successeur Jean XXII, aurait fait fabriquer des sceaux astrologiques – censés donc tirer leur pouvoir des astres – montés sur des anneaux, afin de se maintenir à la tête de son archevêché et d'obtenir la bienveillance du nouveau pontife.

C'est donc une pratique acceptée même par l'Église ?
Non, une part de la *scientia magica* est problématique, voire sulfureuse du point de vue de l'Église. D'abord, car il n'y a de magie, qualifiée péjorativement de « nigromancie » (divination noire), que par le biais d'un pacte avec les démons, une pratique éminemment condamnable par les théologiens.
Ensuite, parce que ses rituels, nécessitant parfois la complicité d'un prêtre, peuvent inclure des formules de la liturgie chrétienne, voire une manipulation des sacrements.
Enfin, concrètement, parce qu'elle présente un caractère offensif, avec en particulier une magie des « images » – talismans ou figurines – qui, pratiquée sous une configuration astrale favorable, vise à l'envoûtement en représentant la personne ciblée. Mais il est toujours possible de trouver des prêtres pour réaliser des enchantements, en particulier à des fins de protection, qui paraissent moins répréhensibles sur le plan moral.

Qui sont les pratiquants de cette magie « savante » ?
Ce sont principalement des hommes lettrés, qui connaissent le latin et l'astrologie. Ils appartiennent majoritairement au milieu clérical, les textes circulant dans les monastères et les universités. Les traités ou collections de recettes de *scientia magica* constituent un domaine nouveau de la connaissance, en marge des arts libéraux, c'est-à-dire des savoirs traditionnels de l'époque. Mais comme l'astrologie – qui fait alors partie des sciences – a beaucoup de poids dans le cadre théorique de la magie, cette dernière est parfois considérée, elle aussi, comme une science, en s'intégrant dans le cadre explicatif global de l'époque.
Aux derniers siècles du Moyen Âge, ces savoirs se diffusent aussi dans les cours princières, que fréquentent certains nigromanciens et astrologues.

En quoi la magie diffère-t-elle de la sorcellerie ?
La sorcellerie et ses pratiques, de la guérison à l'envoûtement, évoquent davantage une culture populaire et orale, par définition difficile à connaître pour nous. Ce dont les historiens sont sûrs, en revanche, c'est que le terme apparaît dans des procès à partir du XV^e^ siècle. Ceux-ci préfigurent les grandes chasses aux sorcières de l'Époque moderne. La sorcellerie y est assimilée à une hérésie. Elle est en réalité inventée par des théologiens, des démonologues et des juristes, et repose sur un « imaginaire du sabbat », avec l'idée que des hommes et des femmes se réuniraient la nuit dans un lieu secret pour se soumettre au diable et perpétrer des crimes : infanticides, maléfices…

PROPOS RECUEILLIS PAR AGNÈS VERNET

Jean-Patrice Boudet, *Entre science et nigromancie,* Publications de la Sorbonne, 2006

SOIGNER, GUÉRIR

J. VIGNE / LA COLLECTION

Femme consultant une « gynécologue ». Les fleurs blanches sont une métaphore évoquant les pertes blanches. Traduction d'un traité de médecine du Perse du Xe siècle Rhazes. XIVe siècle.

Concevant l'humain comme un tout, âme et corps, la médecine médiévale considère la maladie comme un déséquilibre. Elle y remédie avec une pharmacopée à base de plantes aux effets étudiés depuis des millénaires.

MÉDECINE SAVANTE, MÉDECINE POPULAIRE

Au XIIIe siècle, avec la découverte des textes antiques et arabes, l'art de soigner devient science. Mais à côté des doctes médecins formés à l'université et parlant latin exercent encore des guérisseurs, barbiers et matrones, dont l'expérience supplée au savoir officiel.

On a beaucoup glosé sur l'incompétence des médecins du Moyen Âge et l'inanité des soins délivrés par ces praticiens pérorant en latin, ou sur leur couardise face à la peste qui décima plus d'un tiers de la population européenne entre 1347 et 1353. Autant de clichés qui hérissent les médiévistes. *« S'ils avaient été si nuls, il n'y aurait plus personne pour parler de cette épidémie !* observe Laurence Moulinier-Brogi, professeure à l'université de Nanterre. *Les médecins cherchaient des solutions, tentaient des mesures de prophylaxie. Certains fuyaient et conseillaient d'éviter les malades, mais beaucoup mouraient à leur chevet. »* De nombreux traités sont immédiatement rédigés pour saisir les origines de la peste, décrire les symptômes et proposer des moyens de la combattre ou de s'en prémunir. À rebours des préjugés, le Moyen Âge s'avère, selon Marilyn Nicoud, professeure d'histoire médiévale à l'université d'Avignon, une période où se développe une conception nouvelle, rationnelle, de l'art de soigner, et où l'univers médical se professionnalise.

MARILYNNICOUD

« AU XIIIe SIÈCLE, ON INVENTE UN CURSUS D'ÉTUDES : CINQ À SIX ANS POUR DEVENIR MAÎTRE ÈS ARTS, PUIS QUATRE ANNÉES DE SPÉCIALISATION EN MÉDECINE »

Marilyn Nicoud, professeure d'histoire médiévale à l'université d'Avignon

Marilyn Nicoud (coord.), *Souffrir, soigner, guérir : les patients et leur médecin du Moyen Âge à nos jours*, Vendémiaire, 2023

Marilyn Nicoud, *Les Régimes de santé au Moyen Âge. Naissance et diffusion d'une écriture médicale, XIIIe–XVe siècle*, École française de Rome, 2007

Laurence Moulinier-Brogi, Marilyn Nicoud, *Écritures médicales*, Ciham, 2019

« Pour le haut Moyen Âge, on manque de documents, mais la médecine savante est alors aux mains des moines, décrit Laurence Moulinier-Brogi. *Ce sont eux qui maîtrisent le latin, disposent de manuscrits. Ils pratiquent des actes de petite chirurgie au sein des cloîtres, mais aussi pour les habitants du voisinage, et leur pharmacopée repose sur les plantes médicinales cultivées dans le jardin du monastère (lire aussi p. 56-59). »* Figure emblématique de cette médecine des cloîtres, Hildegarde de Bingen (1098-1179), abbesse bénédictine allemande *(lire aussi p. 51 et 59)*. Il existe probablement aussi une médecine populaire, des guérisseurs illettrés, au savoir fondé sur la transmission familiale et l'expérience, mais, faute de traces écrites, leur pratique reste insaisissable.

L'école de Salerne, aux maîtres renommés, attire des étudiants de toute la Chrétienté

C'est au XIIe siècle, à la faveur du grand mouvement de traduction en latin de textes écrits par des médecins grecs de l'Antiquité, comme Hippocrate et Galien, ou des philosophes comme Aristote, mais aussi de textes en arabe comme ceux d'Avicenne, que débute une profonde mutation de la médecine. Se forgent une connaissance du corps humain et une doctrine rationnelle de la médecine, avec symptômes, diagnostics, traitements… Celle-ci se revendique comme une science, même si elle s'appuie essentiellement sur le savoir livresque et s'il faudra encore quelques siècles pour que priment l'expérimentation et la clinique.

LONDON, WELLCOME LIBRARY

Pionnière dans l'enseignement de l'art de soigner, l'école de Salerne, au sud de Naples, a compté dans ses rangs plusieurs femmes médecins dont Trotula di Ruggiero, gynécologue et chirurgienne. Portrait supposé extrait de *Miscellanea medica XVIII,* publié au début du XIVe siècle, conservé à la Wellcome Library à Londres.

Ces connaissances issues de l'Antiquité et du monde arabe sont enseignées dans des écoles urbaines puis dans des universités. La pionnière est l'« école » de Salerne, qui prend son essor au XIe siècle dans cette ville au sud de Naples renommée de longue date dans toute la Chrétienté pour l'art de soigner. C'est une école de pensée composée de maîtres – chrétiens – médecins laïcs, attirant des élèves de toute l'Europe. Il semble que les femmes y étaient admises, y compris comme enseignantes.

Cautérisation des plaies, réparation d'une fracture, amputation, trépanation…

Au XIIIe siècle se créent les premières universités, à Bologne, Naples, Padoue, Montpellier, Paris, et la médecine devient une faculté au même titre que le droit ou la théologie. *« On invente un cursus d'études : cinq à six années pour devenir "maître ès arts", puis quatre ans de spécialisation en médecine »*, indique Marilyn Nicoud *(lire aussi p. 18-21)*. Le grand changement, c'est que la formation est diplômante, et ces universités, qui proscrivent les femmes et dont les membres sont des clercs, cherchent peu à peu à s'arroger le droit exclusif de former les praticiens. Apparaît alors la figure du médecin savant, latiniste, spécialiste des maladies internes, qui s'appuie, pour établir son diagnostic, sur l'analyse des urines et l'observation du corps.

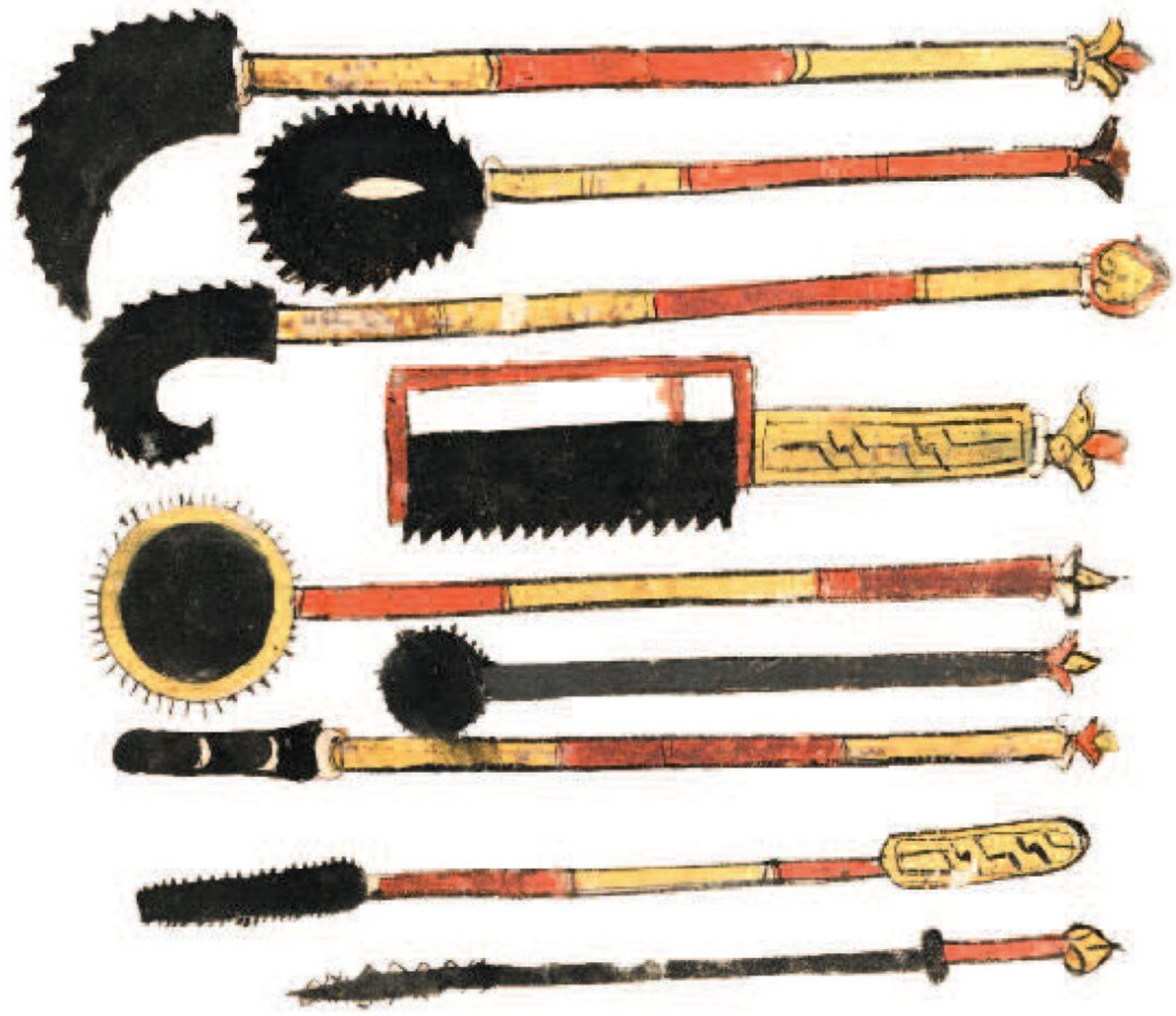
Néanmoins, cette *« professionnalisation naissante, que les autorités légitiment au nom de la conservation de la santé des habitants, reste inaboutie*, observe l'historienne. *Tout au long du Moyen Âge, le milieu médical demeure pluriel et concurrentiel »*, en raison de l'augmentation des besoins des populations et du manque de médecins savants. Le monde des praticiens est disparate, *« foisonnant et diversifié »* : certains n'ont pas de savoir universitaire, s'instruisent auprès d'un maître, d'un père ou d'un frère. *« Souvent itinérants, ils ont parfois des spécialisations ou des autorisations partielles d'exercice dans certaines cités : médecin des yeux, des os, des dents… »* On distingue le chirurgien, formé par apprentissage, spécialiste des opérations manuelles, mettant la main dans le sang et traitant de ce qui est à la surface du corps : cautérisation des plaies, réparation d'une fracture, amputation, opération de la cataracte, trépanation… : c'est un métier à risques ! Le barbier, lui, est ◆◆◆

◆◆◆ préposé à des actes de petite chirurgie comme la saignée ou la pose de ventouses, et à des soins d'hygiène.
Et puis, il y a les matrones, ces femmes dotées d'un savoir généralement transmis de génération en génération et complété par la pratique. *« Souvent accoucheuses, elles peuvent travailler auprès d'institutions charitables (hôpitaux, léproseries) ou disposer d'une clientèle privée »*, précise Marilyn Nicoud. On leur reconnaît le droit d'intervenir dans la sphère de la gynécologie car, *a priori,* les hommes ne touchent pas le corps des femmes. On fait aussi appel à elles pour des expertises en cas de viol ou pour certifier la virginité.

Maîtresse Hersenda, une chirurgienne aux côtés de saint Louis

La place de ces matrones est assez révélatrice de la situation ambivalente des femmes : interdites d'études supérieures et d'exercice de la médecine par l'Université, mais impossibles à exclure, du fait notamment des besoins de la population et de la réticence des patientes à s'exposer aux regards des hommes. Mais faute de documentation, l'importance de leur travail est souvent invisibilisée. *« Quelquefois ne subsistent d'elles que des noms, comme ceux inscrits dans l'*Ars Medicina *de Florence, un traité médical »*, relève Isabella Gagliardi, médiéviste à l'université de Florence. On sait aussi qu'a exercé dans la France capétienne une Maîtresse Hersenda, chirurgienne, qui accompagna saint Louis en croisade en Terre sainte. C'est dans les pays du sud de l'Europe que l'on retrouve le plus de traces écrites de leur activité. Ainsi, l'école de Salerne comptait plusieurs femmes médecins *« dont Trota ou Trotula di Ruggiero, gynécologue et chirurgienne, Francesca di Romano, etc. »* Isabella Gagliardi cite encore *« la Florentine Monna Iacopa, qui soigna les pestiférés en 1374, Agnese et Mita rémunérées par la Ville de Sienne en 1390 »*.
Au nord de l'Europe, au contraire, les médecins hommes tentent d'établir leur monopole et l'on trouve trace de nombreux procès de femmes condamnées pour avoir exercé sans diplôme. Comme la Florentine Jacoba Felicie, dénoncée en 1322 par l'Université de Paris. Les actes du procès montrent qu'elle analysait visuellement l'urine, prenait les pouls, palpait les membres du malade, soignait des hommes aussi, et était efficace : nombreux sont ceux qui vinrent témoigner de leur guérison. Mais son procès et sa condamnation signèrent la fin de l'exercice autorisé ou toléré des femmes. *« Tandis que l'enseignement de la médecine à l'Université de Paris devenait la seule formation valable en Europe, et que l'école de Salerne perdait en influence, les femmes ont été peu à peu exclues de ces professions »*, observe Isabella Gagliardi. En Europe, il faudra attendre le milieu du XIX^e^ siècle pour que les premières femmes médecins puissent être diplômées et exercer.

ÉLIANE PATRIARCA



FINE ART IMAGES/HERITAGE IMAGES/CHRISTOPHE L

Instruments chirurgicaux illustrant le traité *Chirurgie* d'Al-Zahrawi (936-1013), aussi connu sous le nom d'Abulcasis, ouvrage majeur, abondamment copié et traduit. Bibliothèque nationale du Royaume du Maroc, Rabat.

La tête dans le « Guidon »

Opération de la hernie par ablation, suture et cautérisation au fer chaud, chirurgie de la cataracte à l'aide d'une aiguille pour retirer le cristallin opacifié, ou méthode soporifique par inhalation d'extraits de mandragore, de jusquiame et d'opium dans une éponge imbibée… l'ouvrage *Chirurgia Magna,* surnommé le Guidon et écrit en 1363 par Gui de Chauliac, a laissé une empreinte durable dans l'héritage médical pendant plusieurs siècles. *« C'est le premier traité chirurgical écrit en français !* s'enthousiasme Béatrice Bakhouche, latiniste à l'université Paul-Valéry de Montpellier. *Largement diffusé vers les communautés des chirurgiens et des médecins, il a été recopié et commenté par les plus grands noms de l'école de médecine. »* De fait, son auteur *« peut être considéré comme le père de la chirurgie en France »*, reconnaît Geneviève Dumas, historienne de la santé médiévale à l'université de Sherbrooke (Canada).
Si la transmission des pratiques chirurgicales n'était pas nouvelle, Gui de Chauliac a contribué à la diffusion élargie d'un ensemble de gestes pratiqués initialement par des barbiers : saignée, réduction de fractures ou d'ulcères, sutures, bien peu considérés par les médecins. Doublement formé à la médecine et aux techniques « manuelles », il arrimera son savoir anatomique à la médecine pour développer une chirurgie savante dont les barbiers s'empareront progressivement. Avec des conseils précis, par exemple, sur le soin apporté à la suture de chaque couche pour limiter les adhérences entre les tissus.

VALÉRIE HANDWEILER

PORTRAIT

Hildegarde de Bingen, médecin, musicienne et mystique

Elle est l'une des rares femmes à avoir traversé l'histoire. Hildegarde de Bingen (1098-1179) est bien connue des médiévistes, mais aussi, plus récemment, des naturopathes et autres herboristes, qui se réclament de son héritage. Née en Allemagne, dans les collines rhénanes au sud de Mayence, dixième enfant d'une famille de la petite noblesse, de santé fragile, elle a ses premières visions dès l'âge de 3 ans. Lorsqu'elle a 8 ans, ses parents la confient aux religieuses de l'abbaye bénédictine du Disibodenberg. Elle suit ce chemin vers la foi, guidée par cette *« lumière vivante »* qu'elle pense divine. Reconnue par ses sœurs pour l'étendue de son savoir et de ses talents, mais aussi pour sa gestion rigoureuse de l'abbaye, elle sera élue abbesse en 1136 avant de fonder deux autres couvents.

Hildegarde est souvent perçue comme une femme forte et indépendante. Elle attendra cependant, pour révéler au grand jour l'existence de ses visions, l'âge de 43 ans et un ordre *« venu du ciel »* qui lui impose de consigner et transmettre le savoir qu'elle reçoit. *« Ses remèdes s'adressent au corps et à l'âme*, résume l'historienne Audrey Fella. *Chaque être humain est relié à la nature, à l'univers, et ne fait qu'un avec eux. Le moindre désordre dans l'univers va donc impacter la santé des êtres humains, et inversement. »* Soutenue par le cistercien Bernard de Clairvaux, elle correspond avec de nombreux souverains, dont l'empereur Frédéric Barberousse, et retient l'attention du pape Eugène III, qui confirme son rôle dans la transmission des savoirs divins. Et dans ses lettres, n'hésite pas à défendre ses convictions.

FINE ART IMAGES/BRIDGEMAN IMAGES

Hildegarde de Bingen consignant l'une de ses visions. Manuscrit du *Liber divinorum operum* d'Hildegarde elle-même, daté d'environ 1230, conservé à la bibliothèque nationale de Lucques (Italie).

Audrey Fella, *Corps et âme en Dieu,* Points, 2015

Site Web
institut-hildegardien.com

Podcast
« Hildegarde, génie cosmique », Les Grandes Traversées, France Culture https://sciav.fr/Hildegarde-FC

Elle a laissé cinq livres, dont le *Scivias*, (*Livre des visions*), et *Causae et Curae,* (*Causes et remèdes*), consacré à la médecine, où *« elle aborde tous les sujets comme le sang menstruel, le plaisir de l'homme et de la femme, la digestion, les tumeurs »*, poursuit Audrey Fella. Elle est précurseure d'une vision holistique de la médecine, qui considère l'individu dans sa totalité, en tenant compte de ses dimensions non seulement physiques, mais aussi émotionnelles, mentales, spirituelles, sociales et environnementales. Ses remèdes sont des mélanges de plantes, avec des proportions précises, mesurées en coques de noix. *« Proche du Rhin, où circulent les épices, elle aura aussi accès à des plantes comme la muscade, le girofle et la cannelle, les "épices de la joie", qui constituent un mélange régulateur du système nerveux*, décrit Melody Molins, fondatrice de l'Institut Hildegardien, un centre de naturopathie. *Dans la naturopathie contemporaine, les conseils naturels d'Hildegarde de Bingen ont été reconstitués, convertis en grammes et testés en Allemagne sur plus de 30 000 personnes. »* Les vertus de certaines plantes qu'elle a conseillées sont peu à peu étudiées selon des principes modernes de la recherche clinique, tel l'effet inhibiteur de la violette sur les tumeurs, testé en laboratoire sur des cellules de carcinome mammaire de souris. Poétesse et musicienne en plus d'être abbesse et mystique, elle meurt en 1179 à l'âge très avancé de 81 ans, preuve peut-être des bienfaits de ses remèdes et de sa conduite de vie. Elle sera canonisée par le pape Benoît XVI en 2012.

VALÉRIE HANDWEILER

BRITISH LIBRARY / AURIMAGES

Hémorroïdes, polypes nasaux, troubles oculaires : les gestes médicaux traitant ces maux sont décrits dans ce manuscrit du XII^e siècle, illustré en France ou en Angleterre.

La maladie, un changement d'humeurs

Pour le médecin médiéval, héritier des théories antiques, la bonne santé repose sur l'équilibre de fluides régissant le corps humain : les humeurs. Équilibre qu'il convient, chez le malade, de rétablir, et qu'une hygiène de vie complète et scrupuleusement appliquée est censée préserver.

Sur les enluminures médiévales, le médecin est ce personnage qui soulève une fiole d'urine au chevet de son patient. Une image qui symbolise une pratique courante de l'époque : l'interprétation des signes visibles et cachés du corps grâce à l'examen des fluides corporels.
Par ce geste, le médecin cherche à évaluer les humeurs, ces éléments fondamentaux de la théorie médicale médiévale. Héritage de l'Antiquité, élaborée par Hippocrate au V^e siècle avant notre ère puis développée par Galien au II^e siècle, elle suppose que le corps humain se compose, en plus des os et de la

chair, de quatre fluides appelés « humeurs » : le sang, la lymphe (ou phlegme), la bile jaune et la bile noire (ou atrabile). Chaque humeur est liée à l'un des éléments (air, eau, feu et terre), que les savants antiques reconnaissent comme les constituants fondamentaux de la nature. Car *« l'homme est à l'image de l'univers, un microcosme qui reflète le macrocosme »*, note Marilyn Nicoud, professeure d'histoire médiévale à l'université d'Avignon, spécialiste de la médecine et de la santé. Les humeurs sont aussi associées à des qualités spécifiques : le chaud, le froid, l'humide et le sec. Elles varient en couleur, consistance et odeur. Elles ont même un goût : le sang est doux, la bile jaune est amère, la bile noire est acide et le phlegme salé.

« La proportion de ces fluides et qualités définit les complexions naturelles, c'est-à-dire la nature propre de chacun. Certaines sont plus appréciées que d'autres : les tempéraments sanguin (chaud et humide) ou flegmatique (froid et humide) sont préférés aux colérique (chaud et sec) ou mélancolique (froid et sec) », ajoute Marilyn Nicoud.

La maladie résulte d'un déséquilibre des humeurs et de leurs qualités. La fièvre, par exemple, est un excès de chaleur, donc de sang, ce qui justifie les saignées. Le phlegme, caractérisé par l'humidité, s'accumulerait au niveau des articulations causant rhumatismes, rhume de hanche ou encore goutte.

Quatre mortelles pestilences

Les principales maladies transmissibles n'étaient pas les mêmes que celles que nous connaissons aujourd'hui. Désignées comme pestilences, avant la Grande Peste du XIVe siècle, plusieurs d'entre elles ont semé la terreur, et notamment :

La lèpre. **Bien que peu contagieuse, elle provoquait des défigurations et une stigmatisation sociale importantes, imposant des traitements dans des léproseries à distance des agglomérations.**

La variole. **Apparue en Europe dans les années 1490, cette maladie cutanée mortelle, très contagieuse, causait des douleurs et des pustules. Elle a été décrite par Al-Razi (ou Rhazès), médecin et directeur de l'hôpital de Bagdad.**

La dysenterie. **Connue sous le nom de « flux de sang », cette infection intestinale souvent mortelle est à l'origine de règles strictes d'hygiène dans les grandes villes médiévales.**

La suette. **Aujourd'hui disparue, cette maladie décrite uniquement dans le nord de la France et en Angleterre à partir de 1485 se caractérisait par une forte fièvre et une mort rapide en quelques heures, frappant plutôt les hommes jeunes, non sans rappeler les pires formes de la grippe.**

Les humeurs varient également au fil de la vie et des saisons. Pour Hippocrate, tous les animaux, dont les humains, sont composés de feu et d'eau. *« L'extinction de la chaleur est associée à la fin de la vie : la mort est vue comme un feu qui s'éteint, alors que l'humidité, combustible de ce feu, domine à la naissance et tout au long des périodes de croissance »*, poursuit Marilyn Nicoud.

Dimension supplémentaire de la théorie, les facteurs externes dits « non naturels » : l'air, l'alimentation, l'exercice physique et les émotions. Aussi bizarre que cela puisse paraître, les savants d'alors considéraient en effet ces dernières comme des forces extérieures susceptibles de tourner le ventre, glacer le sang ou faire battre le cœur.

Un ventricule produit le sang, l'autre recèle l'esprit vital

Cette vision s'ajoute aux connaissances pragmatiques des chirurgiens. *« Les médecins avaient une bonne compréhension de l'anatomie, acquise par des livres et la dissection d'animaux, bien que souvent influencée par la théorie des humeurs qui biaisait certaines descriptions,* explique Joël Chandelier, maître de conférences en histoire médiévale à l'université Paris VIII. *Ils croyaient ainsi qu'il existait un trou entre les ventricules du cœur, presque invisible à l'œil nu mais indispensable. »* Les veines et les artères sont alors considérées comme deux systèmes de circulation indépendants. Le ventricule droit produit le sang, qui va former la chair dans les organes via le réseau veineux. Le sang y est une marée lente. Le ventricule gauche recèle l'esprit vital, qui doit se mélanger avec le sang du ventricule droit pour insuffler la vie à travers les artères.

Toutes ces approches se mêlent et s'additionnent dans le bagage de connaissances médicales. *« C'est assez compliqué*, reconnaît Elma Brenner, historienne à la Wellcome Library, à Londres. *Pour établir un diagnostic, les médecins discutent de la façon dont les humeurs s'équilibrent, en quantité et en qualité, des facteurs qui les font varier, le tout en lien avec le tempérament naturel du patient. La plupart des gens du Moyen Âge n'ont pas cette compréhension. »* ◆◆◆

WELLCOME COLLECTION

« POUR ÉTABLIR UN DIAGNOSTIC, LES MÉDECINS DISCUTENT DE LA FAÇON DONT LES HUMEURS S'ÉQUILIBRENT CHEZ LE PATIENT, EN QUANTITÉ ET EN QUALITÉ, ET DES FACTEURS QUI LES FONT VARIER »

Elma Brenner, historienne à la Wellcome Library, Londres

◆◆◆ À côté des pathologies individuelles, il existe des maladies générales – dites « à épidémie ». Pour ces dernières, le poids de la théorie des humeurs est moins fort, au profit de l'observation et de l'expérience. Une corruption de l'eau, de l'air ou de l'environnement en constituait une cause courante. Elma Brenner l'explique : *« Les idées sur la propreté sont basées sur l'observation. Par exemple, on avait remarqué qu'un enfant qui boit l'eau d'une rivière polluée par les déchets du tannage des peaux tombe très malade. »* Contrairement à une idée reçue, selon laquelle le Moyen Âge serait une époque de saleté et de puanteur, l'hygiène est une grande préoccupation. *« Il y avait, par exemple, des règlements de santé publique dans les villes, toujours très soucieuses d'être approvisionnées en eau propre »*, souligne la spécialiste.
Pour comprendre et anticiper ces maladies générales, la médecine, comme de nombreuses disciplines scientifiques, pouvait s'appuyer sur l'astrologie. *« Des almanachs, des calendriers pour l'année à venir contenaient diverses prédictions locales sur les récoltes ou sur le mauvais temps. Et parfois sur les épidémies »*, souligne l'historienne. Ainsi, lorsque la Grande Peste frappe la France en 1348, les médecins de l'Université de Paris expliquent l'origine de la pandémie par une conjonction entre Saturne, Mars et Jupiter.

Père de la chirurgie anglaise, John Arderne (1307-1392) s'est notamment intéressé aux affections des organes génitaux (ici, une miniature de 1412 illustrant un de ses ouvrages).

NPL/OPALE.PHOTO

En cas d'épidémie, toujours conserver un esprit joyeux !

Prédire, donc, mais aussi éviter ! Les remèdes n'étant pas toujours efficaces *(lire p. 56-59)*, la médecine médiévale ne néglige pas la prévention. Pour préserver l'équilibre des humeurs ou compenser le déséquilibre lié à l'âge ou aux saisons, la diététique médiévale (*diaeta*), aussi appelée régime de santé (*regimen sanitatis*), va bien au-delà

La routine sportive du chevalier en armure

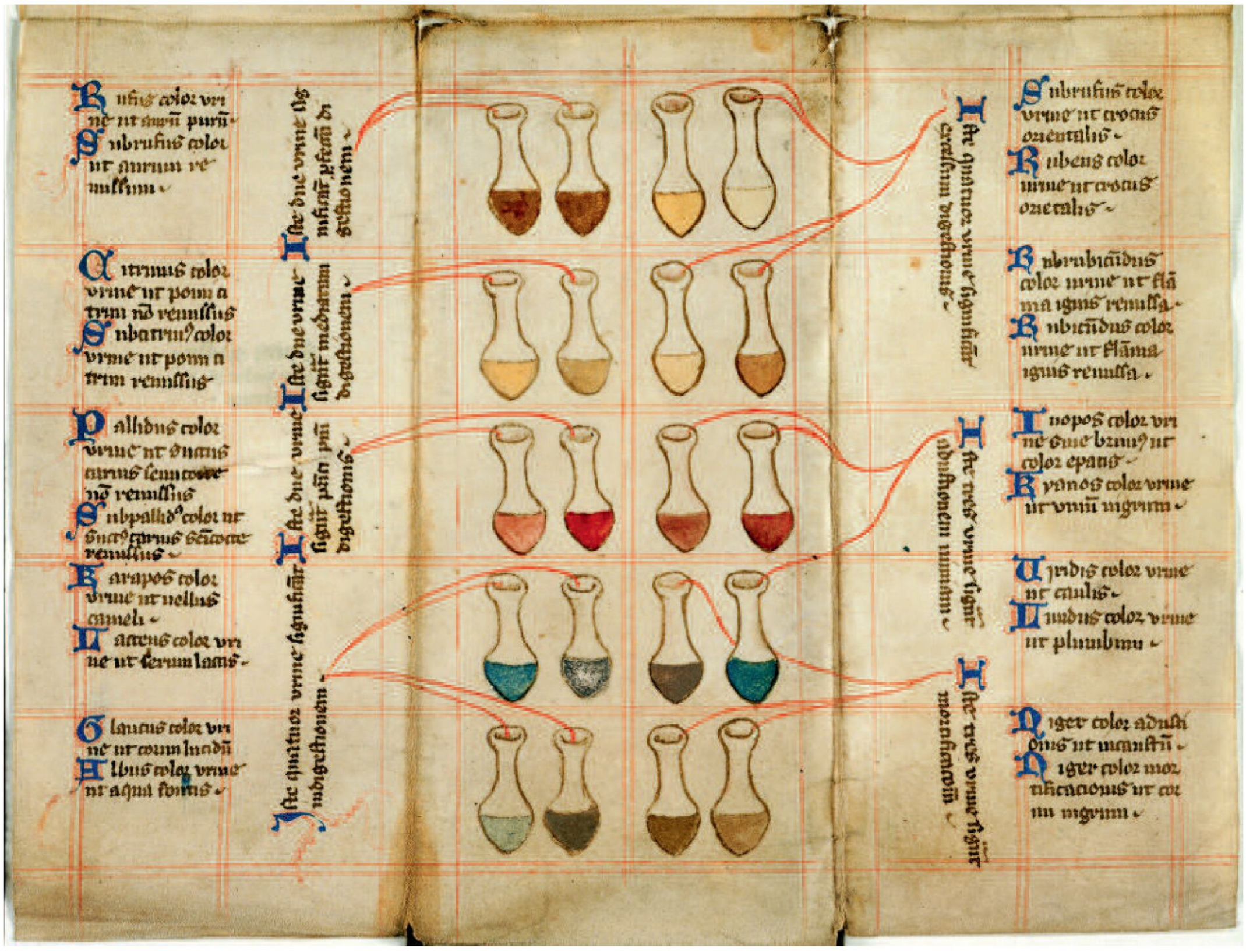
TIRÉ D'UNE VIDÉO DE DANIEL JACQUET

L'historien Daniel Jaquet en action, lesté d'un harnois de 26 kilos.

Courir sur de longues distances, sauter à la selle de son cheval, grimper à une échelle à la seule force des bras… Le tout en armure. Voici la routine sportive consignée dans ses mémoires par le chevalier Jean le Meingre, surnommé Boucicaut, au début du XV^e^ siècle. En effet, à la manière des sapeurs-pompiers ou des forces de l'ordre qui s'entraînent aujourd'hui avec leur équipement, les chevaliers du Moyen Âge s'exerçaient avec leur armure avant les tournois.
Pour étudier la faisabilité de ces exercices, l'historien spécialiste des arts martiaux européens Daniel Jaquet s'est filmé dans une armure aux caractéristiques inspirées de l'iconographie de l'époque. On le voit suivre les consignes avec aisance et même réaliser le « soubresaut » de Boucicaut, qui se traduit par *salto* ou roue. « *L'armure n'est pas encombrante. Il faut casser cette idée reçue* », insiste Daniel Jaquet. Si certains mouvements sont toutefois limités, comme l'élévation de l'épaule, c'est dans un but de protection, pour empêcher l'accès à des zones vulnérables.
Un autre recueil, plus tardif, conseille même de s'entraîner avec une armure plus lourde pour « renforcer le corps ». « *Entre mémoire et fiction, la biographie chevaleresque met en avant les exploits des chevaliers,* ajoute l'historien*. On peut donc se questionner sur la véracité des écrits de Boucicaut. Cela dit, la routine qu'il décrit est tout à fait plausible et le recueil a été annoté, signe que son propriétaire a répliqué les exercices. »*

SYLVIE NADIN

Démonstration de mise en armure
Vidéo de Daniel Jaquet réalisée en 2023 par la Fondation Martin Bodmer, https://sciav.fr/video-jaquet



BRITISH LIBRARY / AURIMAGES

de l'alimentation. Elle englobe des recommandations pour une hygiène de vie complète : sommeil, exercice, vie sexuelle, bains, et même émotions… Il est par exemple conseillé de dormir en position inclinée pour éviter que les vapeurs digestives ne remontent au cerveau, ou de se promener après le dîner afin d'initier les premières étapes de la digestion avant le coucher. Mais aussi de conserver un esprit joyeux en cas d'épidémie. Ce dernier point *« semble expliquer pourquoi les médecins demandent aux églises d'arrêter de sonner le glas pour chaque mort en temps de peste »*, précise Marilyn Nicoud.

« La médecine s'occupe du corps en bonne santé, car celle-ci est un équilibre fragile », poursuit la spécialiste. La diététique intègre ainsi l'influence des facteurs naturels sur les humeurs et propose des solutions pour réduire la vulnérabilité aux maladies.

On peut s'étonner que la théorie médicale n'ait que très peu évolué de l'Antiquité au XV^e^ siècle. *« En Occident,* rappelle Joël Chandelier, *on observe une chute globale du niveau intellectuel au début du Moyen Âge, suite à la disparition des écoles de médecine qui structuraient l'enseignement. Dans les monastères, des moines pratiquent la médecine, mais d'une moindre qualité que dans les écoles romaines. »*

Les médecins arabes, vrais héritiers des savoirs antiques

Pour voir surgir de nouveaux savoirs, c'est vers le sud et l'est de la Méditerranée qu'il faut regarder. *« Ces régions étaient romaines avant de devenir arabes. Au Moyen Âge, on y pratique une médecine de haut niveau. Les médecins de langue arabe sont les vrais héritiers de la médecine antique, car il n'y a pas de discontinuités »*, explique l'historien. Ils ont été formés directement par les maîtres antiques : Galien est venu étudier à Alexandrie, par exemple. C'est d'ailleurs au sud de la Méditerranée et en Orient que *« des avancées sont réalisées dès le IX^e^ siècle »*, poursuit-il. Avicenne, philosophe et médecin persan du XI^e^ siècle, propose par exemple des règles destinées à garantir la qualité de l'expérimentation médicale. Il relève l'importance de refaire les expériences, d'étudier une maladie simple, c'est-à-dire en l'absence d'autres pathologies qui viendraient compliquer le tableau clinique – en termes d'aujourd'hui –, et même de prendre garde à l'expérimentation animale parce que ses résultats ne sont pas extrapolables à l'humain… et ne sont donc pas fiables. Ces travaux, et ceux d'autres savants, parviennent en Occident où, traduits en latin à partir du XI^e^ siècle, ils contribueront au grand renouveau de la connaissance. **AGNÈS VERNET**

La couleur des urines est un élément clé de diagnostic au Moyen Âge. Ici, les connaissances dans ce domaine sont récapitulées dans un almanach pliable anglais du XV^e^ siècle.

Jean-Noël Fabiani-Salmon et Philippe Bercovici, *L'Incroyable Histoire de la médecine*, Les Arènes, 2022

Podcast
Sciences et Moyen Âge, épisode 4 : La médecine, Passion Médiévistes https://sciav.fr/medievistes-medecine

Les savants mélanges de la pharmacopée

Largement extraits de plantes, mais aussi parfois de pierres ou de venins, les remèdes administrés au Moyen Âge reposaient sur une bonne dose d'empirisme, de savoirs antiques et de croyances populaires. Avec une efficacité parfois surprenante.

1 Quelles sont les principales théories qui ont influencé la pharmacopée médiévale ?

« Il existe des centaines, voire des milliers de textes consacrés à la pharmacopée, en latin et dans toutes les langues vernaculaires provenant de différentes civilisations, notamment gréco-romaine, arabe et chrétienne », déclare Iolanda Ventura, spécialiste d'histoire de la pharmacologie médiévale à l'université de Bologne. Certains décrivent l'usage des médicaments simples (remèdes fabriqués à partir d'une seule substance, généralement d'origine naturelle), d'autres – les antidotaires – sont des recueils de recettes. Surtout accessibles aux clercs, médecins universitaires, apothicaires et élites aristocratiques, la théorie pharmacologique y est expliquée. Mais il n'existe pas de répertoire complet de toutes les typologies de recettes. Parmi les textes les plus importants figure le recueil *De materia medica* de Dioscoride, qui remonte au Ier siècle après J.-C. Il décrit les usages thérapeutiques de quelque 600 plantes médicinales ainsi que de substances animales et minérales. La pharmacopée médiévale est en fait le fruit d'un vaste syncrétisme entre les savoirs antiques (Hippocrate, Galien, Dioscoride), les contributions arabes (Avicenne, Abulcasis) et les apports locaux (école de Salerne, Hildegarde de Bingen).

Quant aux théories médicales dominantes, celle des humeurs, héritée d'Hippocrate, est

Josy Marty-Dufaut, *Remèdes et soins au Moyen Âge*, Éditions Ouest-France, 2022

ROLAND AND SABRINA MICHAUD / AKG-IMAGES

ROLAND AND SABRINA MICHAUD / AKG-IMAGES

AKG-IMAGES

sans doute le pilier central. Mais d'autres sont populaires. Parmi elles, celle des signatures qui veut que la forme, la couleur ou l'odeur d'un remède puisse révéler ses propriétés médicinales. L'hermodacte ou « doigt de mercure », une plante évoquant des doigts déformés, était ainsi utilisée dans le traitement de la goutte. La théorie des similitudes reposait quant à elle sur le postulat qu'une substance est capable de reproduire les symptômes d'une maladie pour guérir cette dernière. Autrement dit, soigner le mal par le mal. Les médecins médiévaux utilisaient par exemple des doses réduites ou diluées de venin (serpent, scorpion, abeille) pour traiter les morsures ou les piqûres. Cette pratique repose sur l'idée que ce qui cause un problème peut aussi renforcer la capacité du corps à le combattre, un concept précurseur des approches modernes comme la désensibilisation.

« LA NOTION DE POSOLOGIE ÉTAIT DÉJÀ TRAVAILLÉE. IL EXISTAIT DES PETITS TRAITÉS PORTANT SUR LES POIDS, LES MESURES ET LES DOSAGES »

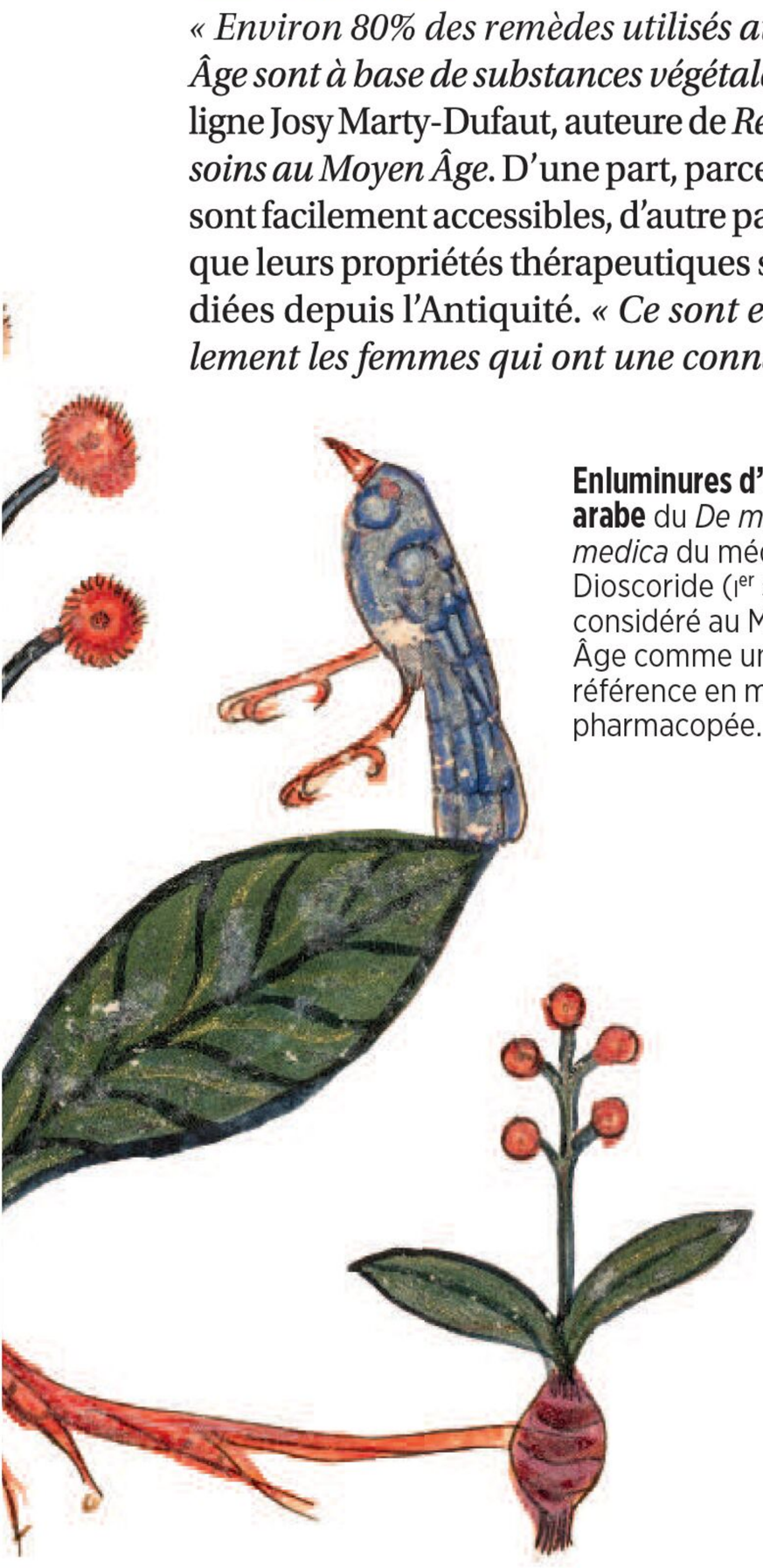
Iolanda Ventura,
spécialiste d'histoire de la pharmacologie à l'université de Bologne

2 Les remèdes sont-ils essentiellement à base de plantes ?

« Environ 80% des remèdes utilisés au Moyen Âge sont à base de substances végétales », souligne Josy Marty-Dufaut, auteure de *Remèdes et soins au Moyen Âge*. D'une part, parce qu'elles sont facilement accessibles, d'autre part, parce que leurs propriétés thérapeutiques sont étudiées depuis l'Antiquité. *« Ce sont essentiellement les femmes qui ont une connaissance empirique des espèces végétales »*, précise Iolanda Ventura. La plante star n'est autre que la sauge, dont la dénomination vient du verbe latin salvare qui signifie « sauver ». Une phrase célèbre de l'école de Salerne lui est consacrée : *« Homme, pourquoi meurs-tu, lorsqu'en ton jardin pousse la sauge ? »* Traitement des infections respiratoires, des maux de gorge, des troubles digestifs, de la fatigue, elle a toutes les vertus. *« L'ail était, lui, le médicament des pauvres*, indique Iolanda Ventura. *Tout le monde pouvait s'en procurer… »* Son odeur forte et ses composés sulfurés, bien que non identifiés scientifiquement à l'époque, étaient considérés comme capables de « purifier » le corps et l'air autour du malade. Si certaines plantes sont tout simplement cueillies à l'état sauvage, d'autres sont cultivées dans l'*herbularius*, la partie des jardins monastiques dédiée aux plantes médicinales.

3 Quelle place occupent les minéraux ?

On estime qu'à peine plus de 10% des remèdes sont d'origine minérale. Les prétendues vertus thérapeutiques des minéraux sont réservées à des affections particulières, notamment les maladies de peau, des yeux, et les infections de la bouche. Leur efficacité reposait souvent davantage sur des croyances symboliques ou alchimiques que sur des observations ◆◆◆



Enluminures d'une version arabe du *De materia medica* du médecin grec Dioscoride (Ier siècle), considéré au Moyen Âge comme un traité de référence en matière de pharmacopée. XIIIe siècle.

INTERFOTO / AUSTRIAN NATIONAL LIBRARY / LA COLLECTION

INTERFOTO / AUSTRIAN NATIONAL LIBRARY / LA COLLECTION

Les étranges vertus du chiot farci

Pas ragoûtants, voire hautement toxiques… certains traitements utilisés au Moyen Âge ont heureusement disparu de la pharmacopée. Imaginez par exemple devoir avaler du chiot farci de limaçons et de sauge pour lutter contre la goutte (inflammation des articulations). Ou encore se voir appliquer sur l'œil, en cas de cataracte, de la bile de lièvre mélangée à du miel. La vipère et ses dérivés étaient d'ailleurs considérés comme des remèdes puissants, possédant des propriétés « réchauffantes » et pouvant aider à « purger » le corps des impuretés. Le caractère toxique du venin de l'animal était connu, mais la posologie un peu hasardeuse pouvait conduire à des catastrophes. Des plantes très toxiques, telles que la belladonne et la jusquiame, entraient aussi dans la composition de certains médicaments. Dans la catégorie des remèdes à éviter, les minéraux ne sont pas en reste. L'antimoine, un métal lourd, est utilisé dans de nombreux cas : fistules, écoulement nasal, hémorroïdes. Il était aussi apprécié comme vomitif… mais, pris à fortes doses, conduisait purement et simplement à la mort.

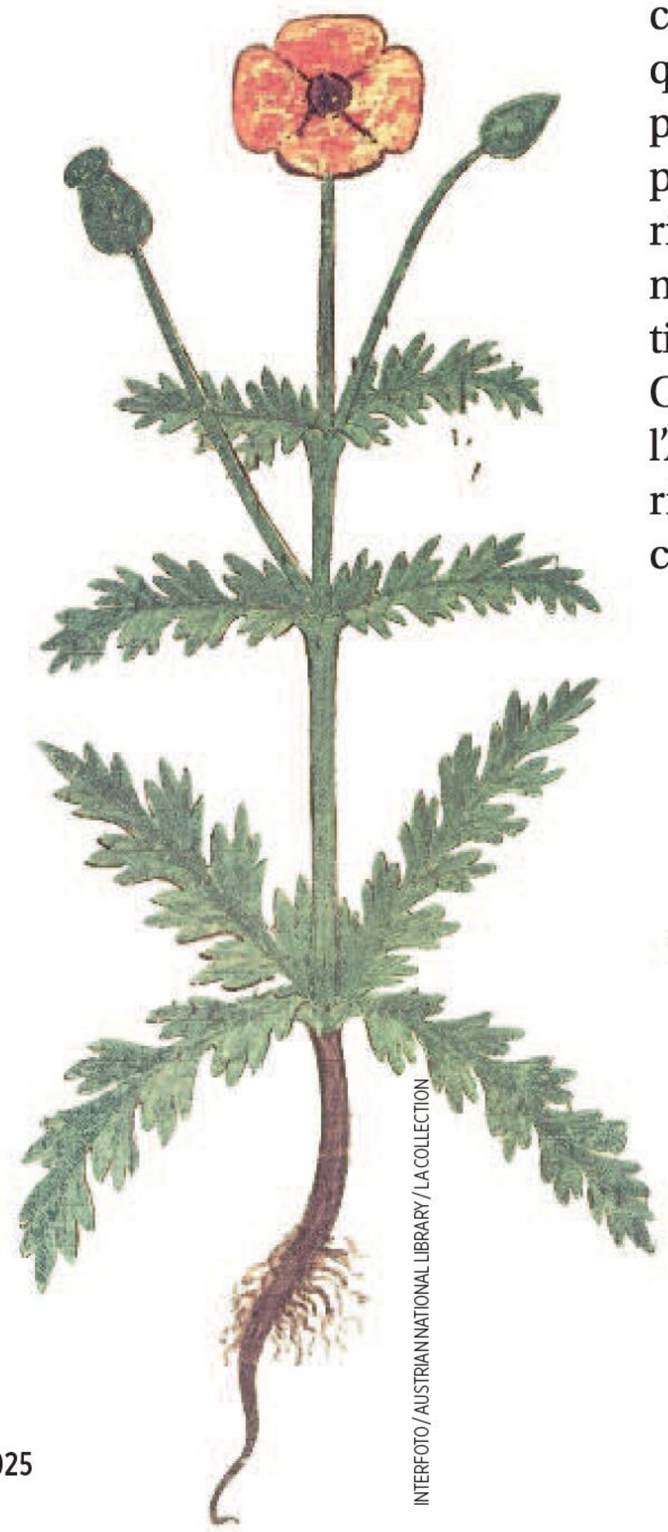
D'autres thérapeutiques étaient destinées à maintenir ou rétablir l'équilibre des humeurs, notamment la célèbre saignée, selon l'idée que le sang, élément vital, « échauffe » le corps lorsqu'il est en excès et conduit à des symptômes comme la fièvre ou l'agitation. L'opération, pratiquée selon des règles très précises, reposait sur une connaissance approximative de la circulation sanguine. Les points de saignée, répartis sur 47 veines, étaient choisis en fonction de la maladie. Le recours aux sangsues visait lui aussi à retirer l'excès de sang, mais de manière moins invasive. Placés sur la peau, ces vers aquatiques aspiraient jusqu'à dix fois l'équivalent de leur poids en sang. Troisième technique pratiquée par les barbiers : les ventouses avec incision.

◆◆◆ médicales vérifiées. Par ailleurs, *« les minéraux sont regardés avec prudence, car considérés comme ayant de puissants effets »*, précise Iolanda Ventura. Le vitriol, un dérivé de l'acide sulfurique associé à différents métaux, était par exemple utilisé pour purifier les plaies ou traiter les infections cutanées. Ses propriétés antiseptiques en faisaient un ingrédient courant des onguents et des cataplasmes pour prévenir la gangrène. Mais avec précaution, en raison de sa toxicité. *« Ce corrosif puissant venait à bout des abcès, mais attaquait aussi les tissus voisins »*, précise Iolanda Ventura. Bon nombre de pierres décrites par Dioscoride et Galien n'étaient pas facilement accessibles car elles provenaient de régions lointaines, notamment le Moyen-Orient. C'est le cas de la pierre d'alun, utilisée pour ses propriétés astringentes et cicatrisantes.

4 Comment ces remèdes sont-ils préparés et administrés ?

Une attention particulière est portée au moment de la cueillette. Le trajet des étoiles, la position de la lune, les solstices, les équinoxes sont pris en compte. Par ailleurs, moines, apothicaires, guérisseurs et médecins ont suffisamment de connaissances du monde végétal pour savoir que chaque partie d'un végétal recèle des propriétés spécifiques. Et de la feuille à la résine en passant par l'écorce, les graines ou les racines, rien ne leur échappe. Quant aux formes galéniques, elles sont très variées : infusion, décoction, cataplasme, onguent, collyre, poudre… Certaines méthodes étaient transmises depuis l'Antiquité, enrichies par des observations empiriques. Les guérisseurs, même sans connaissance chimique, avaient

AURIMAGES


INTERFOTO / AUSTRIAN NATIONAL LIBRARY / LA COLLECTION

AURIMAGES

INTERFOTO / AUSTRIAN NATIONAL LIBRARY / LA COLLECTION

ainsi remarqué que l'eau chaude permet de libérer les substances actives des plantes. L'alchimie a contribué à l'élaboration de techniques importantes, telles que la distillation et la purification. Avicenne (980-1037) a popularisé l'usage de distillats, dont l'eau de rose pour ses propriétés antiseptiques.

5 Les remèdes sont-ils efficaces, ou la guérison est-elle davantage due à une combinaison de chance, de croyance populaire et d'effet placebo?

Les traitements reposent en grande partie sur des croyances populaires, la théorie des humeurs et une connaissance limitée des mécanismes biologiques, ainsi que sur les croyances religieuses, susceptibles de renforcer l'effet placebo. Contre la peste, les médecins pouvaient préconiser des saignées, des décoctions d'herbes, des fumigations de soufre, l'absorption du « bol d'Arménie » composé de terre glaise et de lait de chèvre, mais aussi le port de médailles de saint Roch. Cependant, certains remèdes étaient efficaces, partiellement ou pleinement. Les principes actifs de la camomille (anti-inflammatoires et calmants) avaient par exemple été bien identifiés. *« La notion de posologie était déjà travaillée,* précise en outre Iolanda Ventura. *Il existait même des petits traités portant sur les poids et les mesures, avec une véritable mathématisation des dosages. »* Malgré tous ces manuscrits, chaque apothicaire, guérisseur, barbier était très autonome, et ses pratiques pouvaient donc s'en éloigner. *« L'idée même de guérison était différente,* précise l'universitaire italienne, *car seuls les symptômes extérieurs étaient visibles. Faire disparaître un gonflement ne signifie pourtant pas vaincre la maladie. »*

CÉCILE COUMAU

PHOTOJOSSE/LACOLLECTION

Récolte de l'hysope, utilisée pour ses vertus antiseptiques et expectorantes. Bibliothèque nationale de France, Paris.

Hildegarde de Bingen, pionnière de la phytothérapie

La première naturopathe de l'histoire. C'est souvent ainsi qu'Hildegarde de Bingen est présentée *(lire aussi p. 51).* Et c'est sans doute ce titre qui vaut à cette abbesse du XIIe siècle d'être en bonne place sur Google lorsque l'on fait des recherches sur la pharmacopée du Moyen Âge. Mais elle ne doit pas sa renommée actuelle qu'à ses recettes de galettes, qui font fureur sur le net. Hildegarde de Bingen avait une très grande connaissance des végétaux. Elle décrit les propriétés médicinales de nombreuses plantes et éléments naturels, souvent en fonction de leurs effets observés sur la santé.
« *Chaque plante est étudiée en fonction de l'utilité et des dangers pour l'homme d'un point de vue nutritif, thérapeutique et éventuellement magique*, souffle Josy Marty-Dufaut. *Si la phytothérapie a été reconnue en 1986 comme une médecine à part entière, c'est sans doute un peu grâce à Hildegarde…* » Par ailleurs, dans *Les Causes et les remèdes*, elle propose des traitements spécifiques pour diverses affections, fondés sur l'expérience plutôt que sur des dogmes théologiques. Par exemple, elle avait constaté que le masticage de tiges de fenouil, l'une de ses plantes fétiches, pouvait faciliter la digestion.
Bien sûr, ses prescriptions reprennent les théories de l'époque, et notamment celle des humeurs, et n'aboutissent pas toujours au résultat escompté. Contre la peste, elle préconise un onguent à base d'aigremoine, une plante médicinale très prisée au Moyen Âge. Mais son approche préfigure les méthodes d'expérimentation empirique de la médecine. Elle se distingue également pour son intérêt pour les maux féminins. Les douleurs des règles, de l'accouchement ou encore les symptômes de la ménopause sont évoqués sans tabou.
Elle fait également figure de pionnière car elle a développé une conception holistique de la santé. Le bien-être repose sur un équilibre entre le corps et l'esprit. Selon elle, la *viriditas* (force vitale) était liée à une énergie vitale présente dans la nature et dans les êtres humains. Elle recommandait donc de consommer des aliments frais, notamment des plantes riches en énergie vitale, pour renforcer le corps et prévenir les maladies. L'épeautre était à ses yeux *« un excellent grain, de nature chaude, gros et plein de force et plus doux que les autres grains »*.
Elle s'intéressait autant à l'état physiologique que psychologique. En cas de dépression ou de tristesse, elle proposait des remèdes à base de plantes calmantes comme la valériane, mais aussi des pratiques spirituelles, telles la confession ou la prière, pour apaiser l'âme.

ROLAND AND SABRINA MICHAUD/AKG-IMAGES

Portfolio

Huit inventions qui ont changé le monde

Loin d'être une période de stagnation technologique, le Moyen Âge a été marqué par des avancées techniques considérables dans de nombreux domaines, qui ont transformé la société.

En matière de techniques, la société médiévale a connu plusieurs révolutions. Dans le domaine agricole tout d'abord : à partir du XII^e^ siècle, notamment, des améliorations majeures ont abouti à une meilleure productivité et une croissance démographique significative. L'introduction de la charrue à versoir, qui remplace l'araire plus rudimentaire permet un labour plus profond, facilite le travail des sols lourds du nord de l'Europe. Par ailleurs, le système d'assolement triennal optimise l'utilisation des terres en alternant, sur trois ans, cultures et jachères, augmentant ainsi les rendements. Le collier d'épaule et la ferrure à clous pour les chevaux, en améliorant la traction animale, contribuent également à ce progrès. La diversification des usages du moulin à eau, hérité de l'Antiquité, et l'invention du moulin à vent en Perse au VII^e^ siècle révolutionnent aussi le travail des paysans, permettant de mécaniser certaines tâches.

Le Moyen Âge a également vu se perfectionner les techniques militaires avec des engins de siège sophistiqués, comme le trébuchet, capable de projeter de lourds projectiles avec une grande précision. L'invention de la poudre à canon au VII^e^ siècle en Chine débouche sur l'apparition au XIV^e^ siècle des premières armes à feu, comme la bombarde, ancêtre du canon.

Dans le domaine de la navigation, les innovations telles que le gouvernail d'étambot et l'adoption de la boussole, tous deux inventés en Chine, ont facilité les échanges commerciaux et préparé la voie aux grandes explorations maritimes.

L'architecture médiévale a été marquée par l'essor du style gothique, rendu possible grâce à des avancées techniques majeures *(lire aussi p. 74-77)*. L'invention de l'arc brisé a entraîné la construction d'édifices plus hauts et plus lumineux, tandis que l'utilisation de l'arc-boutant permettait de réduire la pression sur les murs, ouvrant la voie à de larges vitraux qui inondaient les églises de lumière.

Le Moyen Âge a également vu l'apparition des premières horloges mécaniques, remplaçant les cadrans solaires et les clepsydres. Dès la fin du XIII^e^ siècle, ces horloges, installées dans les tours des villes, ont rythmé le temps avec davantage de précision, ce qui a eu un impact important sur l'organisation du travail et des prières.

Enfin, on imprime en Chine dès le XII^e^ siècle à l'aide de caractères mobiles réalisés en céramique. Et en métal au siècle suivant en Corée. Mais on doit à Gutenberg l'invention à Mayence de la typographie moderne, dans les années 1450. Il utilise un alliage de plomb, d'étain et d'antimoine, et une presse pour reporter l'encre du métal sur le papier. La production de livres explose, et même les mal-voyants peuvent en profiter, puisque les bésicles ont déjà été inventées. **PIERRE VANDEGINSTE**

◀ Lunettes

C'est à la fin du XII[e] siècle que des verriers de l'île de Murano, près de Venise, inventent cet objet permettant de corriger la presbytie, en fixant deux lentilles convexes sur un support. On corrigera la myopie, à l'aide de lentilles concaves, au XV[e] siècle. Les lunettes dotées de branches n'apparaîtront qu'au XVIII[e] siècle.
Apôtre lisant à l'aide de bésicles, détail de l'autel de l'église de Bad Wildungen (Allemagne), début du XV[e] siècle.

ARTOTHEK/LA COLLECTION

BRITISH LIBRARY BOARD. ALL RIGHTS RESERVED / BRIDGEMAN IMAGES

SELVA/OPALE.PHOTO

▲ Engins de siège

Lors d'un siège, les assaillants projettent de grosses pierres, parfois taillées en boule, à l'aide de catapultes comportant un balancier actionné par la traction humaine et/ou un contrepoids. Le simple trébuchet, en usage depuis l'Antiquité, est amélioré pour donner notamment le mangonneau, rechargé à l'aide de deux roues actionnées par des hommes placés à l'intérieur. Ces machines ne survivront pas à l'essor de l'artillerie moderne, au XVIe siècle. Trébuchets lors du siège de la Rochelle, alors anglaise, par le roi de France Louis VIII en 1224. Miniature des *Chroniques de Saint Denis*, vers 1340, British Library.

◀ Armes à feu

Si la poudre noire, mélange de salpêtre, de soufre et de charbon de bois, a été inventée en Chine, sans doute au VIIe siècle, elle n'est connue en Europe qu'au XIIIe siècle. Quant à « l'ancêtre » du canon, la bombarde, sa première mention remonte au siège de La Réole en 1324. Ce sont des bombardes de fort calibre qui ont permis en 1453 aux troupes ottomanes de créer des brèches dans la muraille de Constantinople et de précipiter sa chute. Canon à boulets, manuel d'ingénieur pour la construction des bâtiments civil, religieux et militaire, anonyme, fin du XVe siècle, abbaye Saint-Pierre de Solesmes.

▶ Boussole

Mentionnée dans un texte chinois dès le XIe siècle, la boussole fait son apparition en Méditerranée au XIIe siècle. L'aiguille aimantée était initialement fixée sur un support flottant sur l'eau dans un récipient. Elle est par la suite posée sur un pivot. En Chine, l'aiguille désigne le sud et la rose des vents est subdivisée en 24 parties, contre 16 ou 32 en Occident. Certains spécialistes estiment que la boussole a pu être inventée indépendamment en Chine, puis en Europe. Illustration de Jacques Devaulx, *Les Premières Œuvres de Jacques Devaulx, pilote en la marine*, 1583, Bibliothèque nationale de France.

▼ Gouvernail d'étambot

Fixé par des charnières sur l'arrière du navire, il apparaît en mer Baltique au XIIe siècle. Il améliore notablement la manœuvrabilité des navires, dont la direction était auparavant contrôlée à l'aide d'avirons de gouverne latéraux. Mais en Chine, un modèle en poterie d'une jonque datant du Ier siècle, découvert à Guangzhou en 1958, montre la plus ancienne représentation connue d'un gouvernail d'étambot. Cette invention a pu parvenir jusqu'en Occident via la Perse. Navire équipé d'un gouvernail d'étambot, enluminure du *Psautier de Luttrell*, Angleterre, 1340, British Library.

GALLICA/BNF

BRITISH LIBRARY/ AKG-IMAGES

IBERFOTO / BRIDGEMAN IMAGES

▸ Charrue

La charrue lourde à versoir comporte un soc dissymétrique et un versoir qui retourne la terre sur le côté du sillon creusé, ce qui l'aère et enfouit les mauvaises herbes, ainsi éventuellement que le fumier. Elle permet de réaliser des semis plus profonds que l'araire, un instrument aratoire symétrique sans versoir et muni d'un soc qui fend la terre sans la retourner. Inventée en Chine au Ier siècle, elle remplace progressivement celui-ci en Occident à partir du XIe siècle. Scène de labour, détail d'une page du *Psautier de Luttrell*, 1340, British Library.

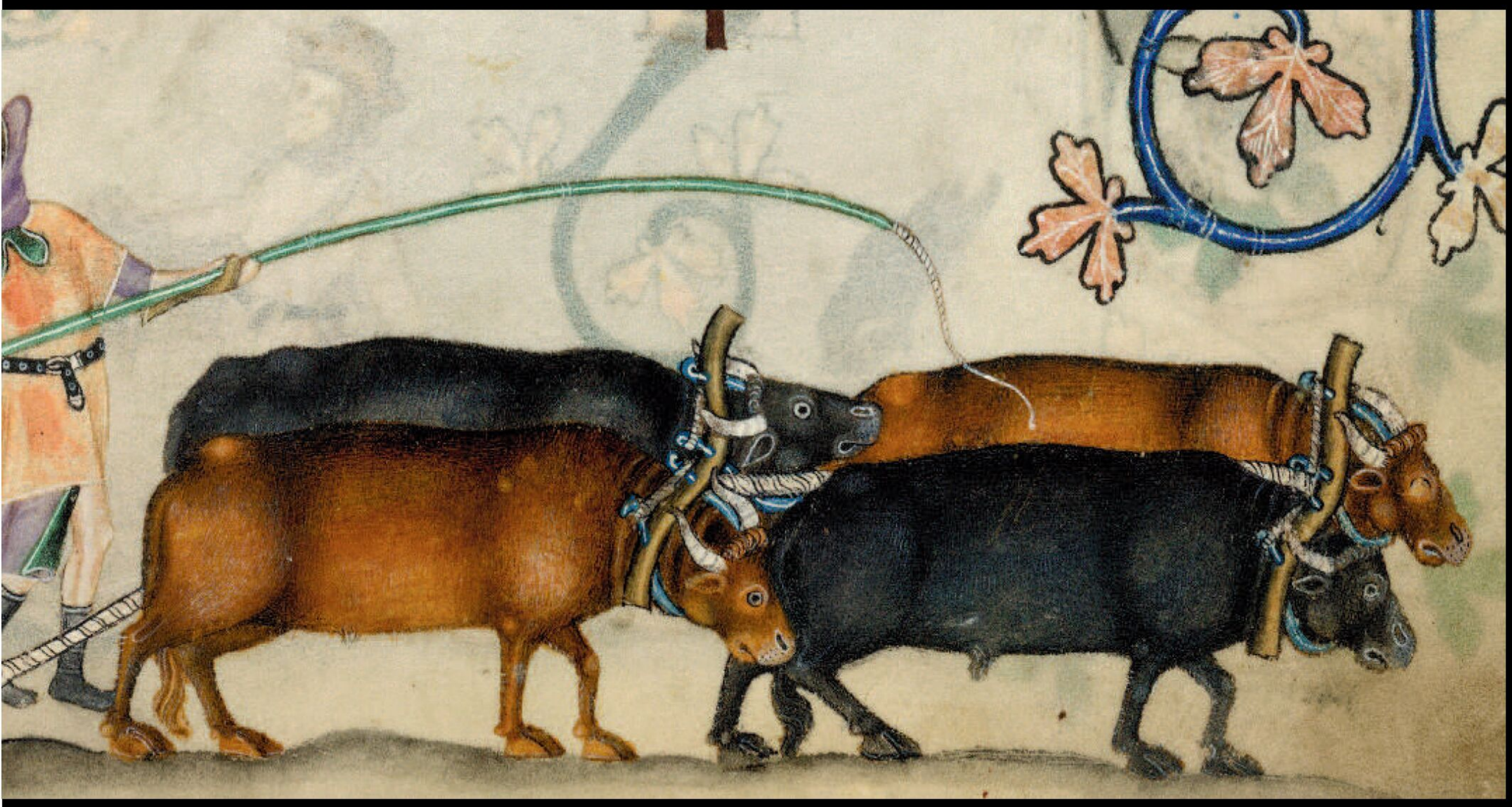
BODLEIAN LIBRARIES, THE UNIVERSITY OF OXFORD / AURIMAGES

◂ Moulin à eau

Dès l'Antiquité, des moulins à eau ont permis de moudre les céréales, d'extraire l'huile des oléagineux et même de scier du bois. Le Moyen Âge voit leur mécanisme se perfectionner, leur usage se répandre et se décliner en de nouvelles applications. Le moulin à foulon bat la laine tissée pour l'assouplir. Ou encore le cuir, ou la pâte à papier, et même le fer… tant qu'il est chaud. *« Les meuniers transportant du blé au moulin par bateau sur la Seine à Paris »*, miniature tirée de la *Vie de Saint Denis*, 1317, Bibliothèque nationale de France.

▴ Moulin à vent

Des moulins à vent, à axe vertical, tournent dès le VII^e^ siècle en Perse. Ils apparaissent au XI^e^ siècle en Europe, où il se répandent surtout à partir du XII^e^ siècle. L'axe devient horizontal, et le mouvement est transmis par un engrenage à l'arbre vertical entraînant la meule. Pour présenter ses ailes au vent, le moulin est orientable, il pivote sur un axe. Au XIII^e^ siècle, une variante apparaît : seul le toit tourne sur une cabine fixe. Moulin à vent, extrait du *Roman d'Alexandre*, XVI^e^ siècle, Bodleian Libraries, Oxford.



BRITISH LIBRARY/KHARBINE/LA COLLECTION

ENTRE SCIENCES ET ARTS

La connaissance ne se pratique pas qu'à l'université. Dans les laboratoires des alchimistes ou les ateliers des cartographes, savoirs techniques et théoriques se mêlent pour définir de nouvelles descriptions du monde.

MANUEL COHEN/AURIMAGES

Préparation d'un remède à l'aide d'un pilon et d'un mortier. Vitrail de la vie de saint Nicolas de la cathédrale de Chartres, offert par la confrérie des apothicaires. XIIIe siècle.

Instruments et techniques alchimiques. Enluminures illustrant le traité d'alchimie *Ymage de vie,* paru au XVe siècle et attribué sans doute à tort à Raymond Lulle (1232-1315), philosophe catalan.

L'alchimie ou la recherche de la perfection

Transformer le plomb en or, élaborer un élixir souverain contre toutes les maladies… Les alchimistes s'y seront épuisés en vain. Mais leurs expérimentations, bien que pétries d'ésotérisme, ont ouvert une voie : celle de la chimie et de la pharmacologie.

D'un geste rapide, l'alchimiste actionne le soufflet et ravive les flammes chauffant l'aludel. Constitué de plusieurs vases en terre emboîtés verticalement, l'appareil sert à sublimer la matière : sous l'action de la chaleur, le dépôt métallique placé tout en bas libère ses composants les plus légers qui se « spiritualisent » en s'élevant. À la fin de l'opération, la substance accumulée dans le pot du haut sera prélevée afin de poursuivre le processus. Le regard de l'alchimiste oscille entre cette installation et les pages d'un imposant manuscrit posé à ses pieds. A-t-il bien compris la recette ?

Se fondant sur la pensée d'Aristote, les alchimistes médiévaux estimaient que la nature des métaux était définie par une combinaison idoine des quatre éléments (le feu, l'eau, l'air et la terre) auxquels on associait différentes qualités (la chaleur, la sécheresse, l'humidité et la froideur). Ils imaginaient que, dans les veines de la Terre, les métaux se transformaient naturellement en perdant leur impureté. Et, sous l'action conjointe du Soufre et du Mercure, deux principes ou « esprits » à l'origine des qualités métalliques – différents du soufre et du mercure communs –, le métal le plus vil, c'est-à-dire le plomb, devenait en quelques millénaires un métal parfait, l'or pur. La mission de l'alchimiste ? Reproduire le phénomène dans son atelier, de façon accélérée, en usant de procédés comme la distillation, la calcination et la sublimation.

Des secrets révélés, selon la légende, par un moine chrétien

De telles opérations apparaissent pour la première fois dans un ouvrage du XIIe siècle, le *Liber de compositione alchimiae,* qui marque l'introduction officielle de l'alchimie en Occident. Daté de 1144, le texte est la traduction par l'Anglais Robert de Chester d'un dialogue qui se serait tenu au VIIe siècle entre le prince omeyyade Khalid ibn Yazid et un moine chrétien, Maryanos. Ce dernier était présenté comme un disciple d'Étienne d'Alexandrie, un alchimiste qui aurait enseigné la médecine dans cette région d'Égypte considérée comme le berceau de l'alchimie aux premiers siècles de notre ère. Au cours de l'échange, le premier se voit révéler les secrets de l'alchimie, appelée encore œuvre majeure. *« Après une explication théorique sur la composition de la matière, Maryanos décrit chacune des étapes nécessaires pour changer les métaux en or »*, explique Antoine Calvet, spécialiste de l'alchimie médiévale.

À cette époque, d'autres traductions latines entrent dans la composition d'un corpus de textes sur l'alchimie arabe qui

WELLCOME LIBRARY, LONDON. WELLCOME IMAGES

comprend des documents philosophiques traitant des origines de la matière, ainsi que des recettes visant la transmutation. « *C'est avec les Arabes que naît la notion d'élixir*, précise le médiéviste. *Celui-ci est une autre finalité du processus alchimique. Au lieu de chercher à transmuter les métaux par destruction lente de leur forme corrompue, l'alchimiste cherche à obtenir une teinture liquide, ou une poudre – la "pierre philosophale" – qui, projetée sur un métal préalablement lavé, le transforme en or.* »

Vue comme une nouveauté, l'alchimie attise la curiosité de quelques savants. Ainsi, dès la fin du XII^e^ siècle, des traités alchimiques latins prolifèrent, pseudépigraphiques pour la plupart, c'est-à-dire écrits par des auteurs inconnus mais attribués à de grands maîtres afin de les légitimer. L'un d'entre eux, la *Summa perfectionis* – rédigée vers 1280 par un franciscain italien, Paul de Tarente, mais dont l'auteur était prétendument un alchimiste arabe célèbre, Jabir ibn Hayyan (Geber, en latin) –, constitue une référence pour tous les alchimistes jusqu'au XVIII^e^ siècle.

Allégories énigmatiques, personnages mystiques et ingrédients codés

Cette renommée, le manuscrit la doit à son contenu novateur qui permet aux alchimistes de sortir de l'ornière où ils avaient été jetés par le livre IV des *Météorologiques* d'Aristote. Un extrait de ce dernier ouvrage, diffusé vers 1200, insistait en effet sur l'idée que la nature est impossible à égaler et que, par son travail, l'artisan ne peut modifier que l'aspect extérieur des choses. Le plomb reste du plomb, et le fer du fer. Contre-attaquant, le pseudo-Geber propose une nouvelle théorie, corpusculaire, faisant du « mercure seul » – le métal liquide capable d'amalgamer les autres métaux – l'ingrédient fondamental qui rend possible la transmutation. La *Summa perfectionis* connaît un succès rapide et les alchimistes reprennent leurs études, déterminés à montrer qu'ils peuvent maîtriser les propriétés métalliques en recourant à des procédés qui leur sont propres. Encore faut-il les appliquer correctement…

« *Lire un traité alchimique est un exercice aride, car il faut en décrypter le langage* », commente Antoine Calvet. Le cryptage revêt différentes formes. Tout d'abord, les premiers alchimistes sont imprégnés de la culture néoplatonicienne, influencée par les mystères antiques. Leurs textes comportent ainsi de nombreuses allégories énigmatiques, à l'image de celui de la Table d'émeraude (*Tabula smaragdina*). Le texte rapporte l'enseignement d'Hermès Trismégiste, personnage mystique incarnant le dieu de la connaissance cachée. Des douze sentences qu'il énonce, la plus célèbre révèle que « *ce qui est en bas est comme ce qui est en haut, et ce qui est en haut comme ce qui est en bas* ». Certains textes utilisent en outre des codages pour désigner les ingrédients, dont seul un lecteur initié a la clé. L'alchimie est une science cachée, car son pratiquant hérite surtout de la tradition des artisans pour qui le secret est la seule façon de conserver le bénéfice de leur procédé.

Disposer d'un laboratoire équipé est onéreux. Aussi les praticiens exercent-ils leur art pour le compte de puissants, comme les princes et les rois à la recherche de finances pour leurs guerres ou l'entretien de leur cour. On les presse de trouver l'élixir, en vain. « *En sortie d'atelier, l'or alchimique était passé à l'essai, c'est-à-dire testé pour vérifier la véritable* ◆◆◆

Antoine Calvet, *L'Alchimie au Moyen Âge. XII^e^-XV^e^ siècles*, Paris, Vrin, 2018

Bernard Joly, *Histoire de l'alchimie*, Vuibert, 2013

À écouter : « Des alchimistes aux chimistes », podcast de France Culture, 2024 https://sciav.fr/alchimistes-fc

« C'EST AVEC LES ARABES QUE NAÎT LA NOTION D'ÉLIXIR, UNE TEINTURE LIQUIDE OU UNE POUDRE QUI, PROJETÉE SUR UN MÉTAL D'ABORD LAVÉ, LE TRANSFORME EN OR »

Antoine Calvet, spécialiste de l'alchimie médiévale

CREDIT

◈ IDÉE REÇUE ◈

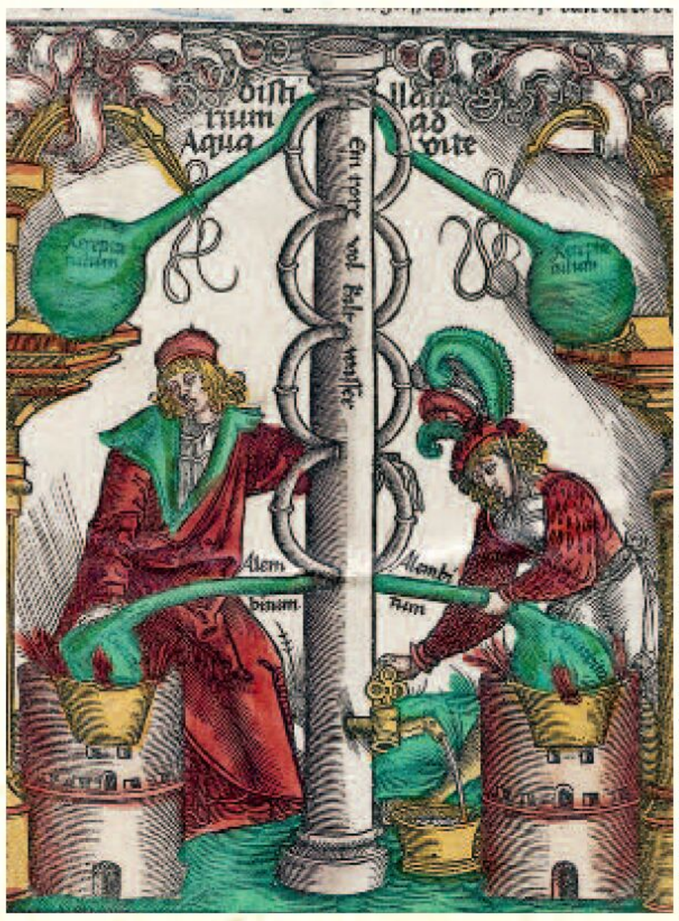
Nicolas Flamel, le plus célèbre des alchimistes

Nicolas Flamel avait-il trouvé la pierre philosophale, comme le prétendent J.K. Rowling dans *Harry Potter* ou Victor Hugo dans *Notre-Dame de Paris* ? Le personnage a bel et bien existé, entre 1340 et 1418, mais il n'a jamais été alchimiste. Copiste parisien et libraire, Flamel avait épousé une riche veuve et accumulé une immense fortune, vraisemblablement grâce à la spéculation immobilière. Le mythe voudrait qu'il ait écrit deux ouvrages d'alchimie au contenu plutôt douteux : le *Sommaire philosophique* et le très allégorique *Livre des figures hiéroglyphiques.* L'attribution, à tort, de ces ouvrages à Flamel témoigne d'une démocratisation de la pratique alchimique et de la pseudépigraphie (désignation d'un faux nom d'auteur). À la fin du Moyen Âge, alors que les traductions de textes alchimiques se font en langue vulgaire, des alchimistes apparaissent dans des corps de métier plus modestes que celui des grands docteurs du XIVe siècle. Il est alors possible d'attribuer à Flamel la pratique de l'alchimie pour expliquer, et potentiellement dénoncer, son enrichissement.

◆◆◆ *nature du métal doré. Les supercheries étaient assez vite dévoilées »*, explique Antoine Calvet. Praticiens de l'ombre manipulant le métal en fusion, les alchimistes courent en outre le risque d'être accusés de produire de la fausse monnaie. Le châtiment pour faux-monnayage pouvait aller d'une simple amende à la mutilation, voire la mort par ébouillantement. Anecdote de l'histoire, l'ancien compagnon d'armes de Jeanne d'Arc Gilles de Rais a entretenu un alchimiste (véreux) dans son château. Lors de son procès, en 1440, la détention de l'atelier alchimique a été l'un des chefs d'accusation portés contre lui, non parce qu'elle démontrait un quelconque lien avec la magie, mais parce qu'elle aurait enfreint un édit royal interdisant de détenir chez soi ce type de matériel.

Suspectée d'encourager les manipulations malhonnêtes et de détourner les religieux de leur mission première, le salut des âmes – jusqu'au XIVe siècle, les alchimistes dont les œuvres sont rapportées sont avant tout des hommes d'Église –, la pratique de l'alchimie visant à créer de l'or a été interdite par plusieurs ordres, notamment les franciscains et des dominicains. En rédigeant son manuscrit *Opus tertium* en 1267, le moine anglais Roger Bacon *(lire aussi p. 29)* défend toutefois l'alchimie comme une science expérimentale, basée avant tout sur l'observation. Pour autant, il n'est pas certain que le franciscain l'ait expérimentée. Roger Bacon a été aussi un des premiers à proposer comme autre finalité à l'alchimie la production d'une médecine. Ainsi, en 1270, dans son *Opus majus*, il rapproche la purification des métaux et celle du corps humain. L'élixir devient un remède universel détenant *« le pouvoir d'enlever les corruptions du corps humain, au point que la vie en serait prolongée de plusieurs siècles »*.

L'alchimie médicale se développe ensuite grâce au *Rosarius philosophorum*. Cette œuvre majeure est attribuée au prestigieux Arnaud de Villeneuve, professeur de médecine originaire du royaume de Valence. Le personnage est entouré d'une légende : celle d'une transmutation réussie devant une assemblée de cardinaux, et de son intervention auprès du pape Boniface VIII qui, souffrant de calculs rénaux, en aurait été guéri par le port d'une ceinture en or frappée du sceau astrologique du lion. Le *Rosarius,* qui deviendra un « best-seller » médiéval, paraît quarante ans après le décès du médecin en 1311. S'il compile des textes latins couvrant les principales philosophies consacrées à l'alchimie minérale, un de ses derniers chapitres propose d'utiliser l'élixir pour soigner le corps humain. Le lien entre les traités distillatoires à des fins thérapeutiques, comme ceux sur l'eau-de-vie, et l'élixir des alchimistes est alors établi.



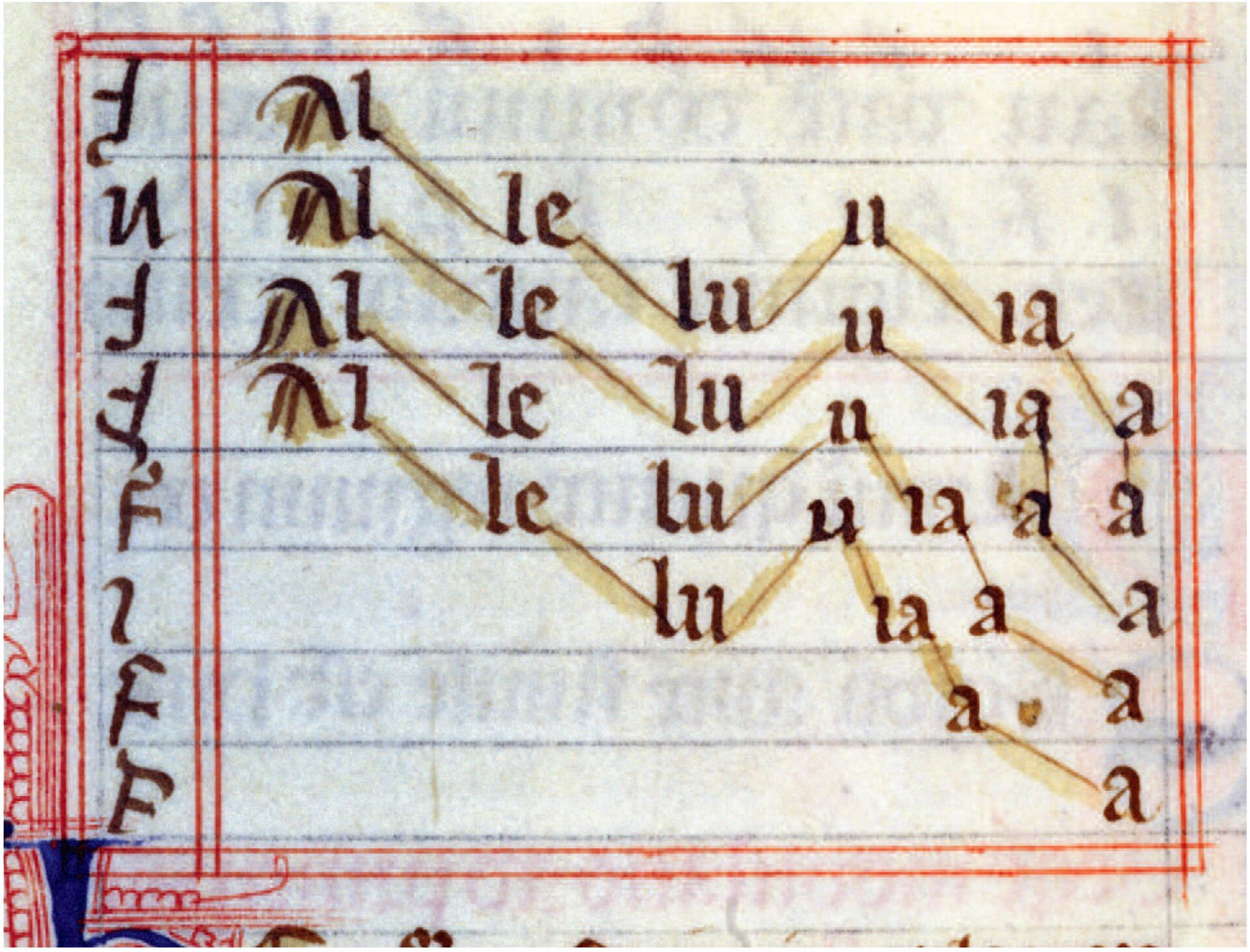
NEW YORK PUBLIC LIBRARY / SCIENCE PHOTO LIBRARY / NATIONAL LIBRARY OF MEDICINE

Alambic décrit dans le *Liber de arte distillandi de compositis,* un manuel rédigé par l'apothicaire Hieronymus Brunschwig et publié en deux tomes en 1500 et 1512.

La quintessence, substance censée guérir toutes les maladies

« L'alchimie médicale a sans doute permis aux franciscains d'espérer trouver des remèdes plus efficaces pour soigner les malades de la peste », suggère Antoine Calvet. Connu pour ses propos apocalyptiques, le franciscain Jean de Roquetaillade reprend l'idée d'un élixir capable de toutes les guérisons en forgeant, vers 1350, le concept de la quintessence : une substance pure qu'il obtient par distillations successives du vin. Avant de généraliser la notion en prétendant extraire, par les pratiques alchimiques, la quintessence de n'importe quelle substance à intérêt médicinal, comme les plantes et les minéraux. De la sorte, il ouvre la voie à la pharmacologie et à la médecine chimiques modernes ; une voie approfondie par le Suisse Paracelse à la Renaissance. À la fin du Moyen Âge, faute d'avoir réussi à créer de l'or, l'alchimie transmutatoire perd un peu de son attrait au profit d'une alchimie médicale s'attirant la sympathie populaire. Elle reste marginale, voire suspecte. Mais, comme toutes les sciences, elle connaîtra un renouveau intellectuel majeur au cours du XVIe siècle.

CAROLINE DEPECKER



GIANCARLO COSTA/BRIDGEMAN IMAGES

Ébauche du XIVe siècle sur une pièce de Guido d'Arezzo. Ce moine bénédictin italien du XIe siècle a révolutionné l'écriture musicale en mettant au point le système des notes.

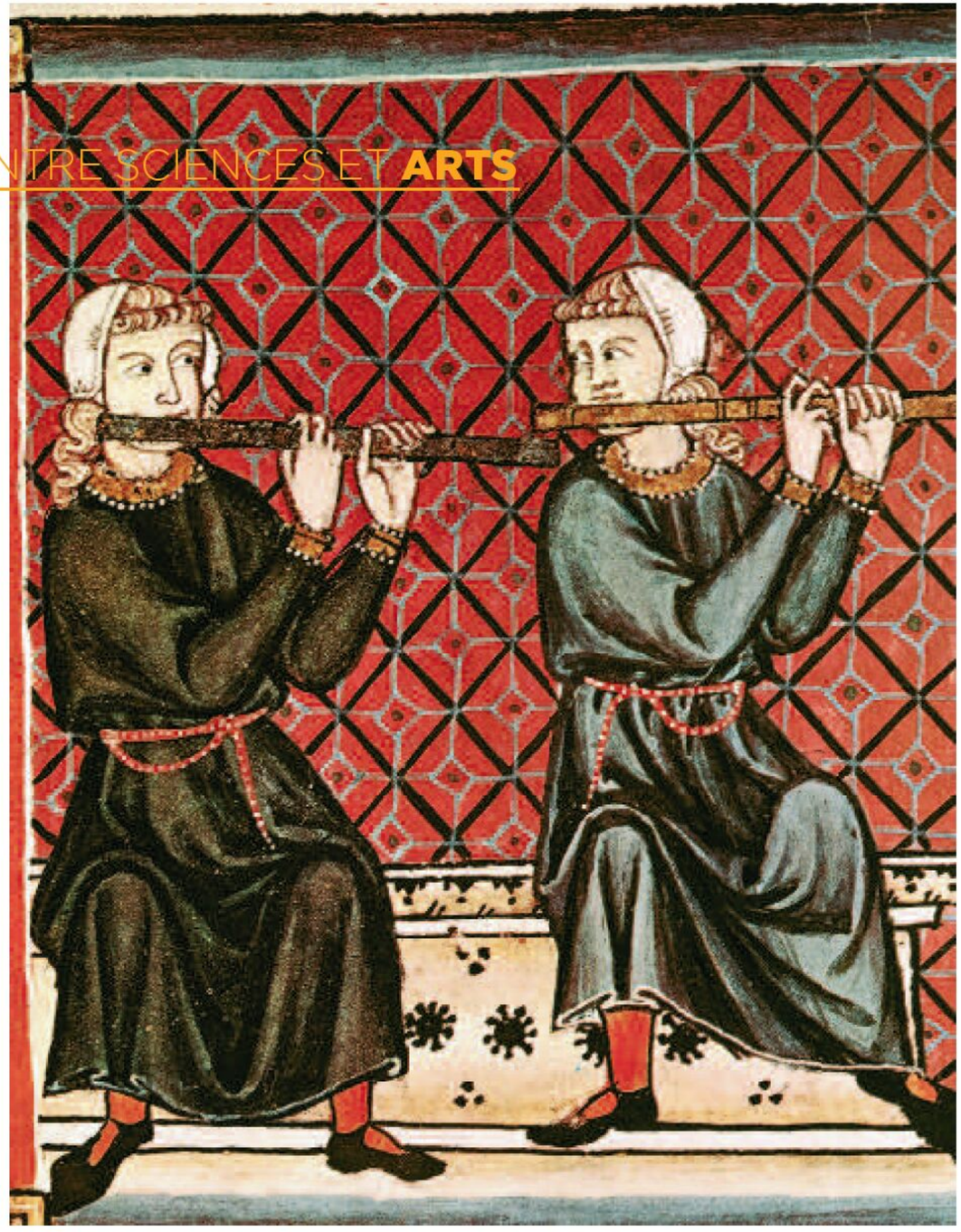
La musique se libère par l'écriture

Discipline mathématique manifestant l'harmonie du monde, la musique médiévale est dépouillée, à l'image du chant grégorien. Jusqu'à l'avènement de la notation puis de la polyphonie, qui en feront ce qu'elle est pour nous aujourd'hui : un art à part entière.

Rien de moins qu'une révolution : c'est ainsi que certains musicologues désignent les mutations de l'*ars musicae* qui se produisent durant la période qui court du IXe au XIIe siècle. Une période qui voit la musique passer de discipline mathématique et scientifique à un art à part entière, de l'oralité aux premières notations.

Pendant les siècles précédents, la place et la définition de la musique n'avaient guère évolué. Les théoriciens des VIe, VIIe et VIIIe siècle continuent de s'inspirer de Platon et de Pythagore, pour qui la musique est une discipline du nombre rendu audible, mais aussi de saint Augustin. L'évêque d'Hippone, également influencé par les philosophes grecs, précise que les sons, ces *« nombres extérieurs sonores »*, ont leur correspondance dans le monde intérieur. La musique est donc d'abord et avant tout une science mathématique. Elle fait d'ailleurs partie du *quadrivium* dans la classification des arts libéraux, aux côtés de la géométrie, de l'algèbre et de l'astronomie.

Un *quadrivium* sur lequel s'appuie le philosophe Boèce, au tout début du Moyen Âge, pour expliquer que la perception des sons peut être réduite à un nombre ; mais aussi, quelques siècles plus tard, vers 850, le bénédictin Aurélien de Réomé, qui écrit l'un des premiers traités consacrés à la musique occidentale, *Musica disciplina*. Il définit des proportions et rappelle que la musique liturgique se base sur huit modes (échelles musicales associées à un ton et à une étendue de notes). Il insiste sur les effets moraux ◆◆◆



INTERFOTO/ AURIMAGES

FINE ART IMAGES/HERITAGE IMAGES/ COLL. CHRISTOPHEL

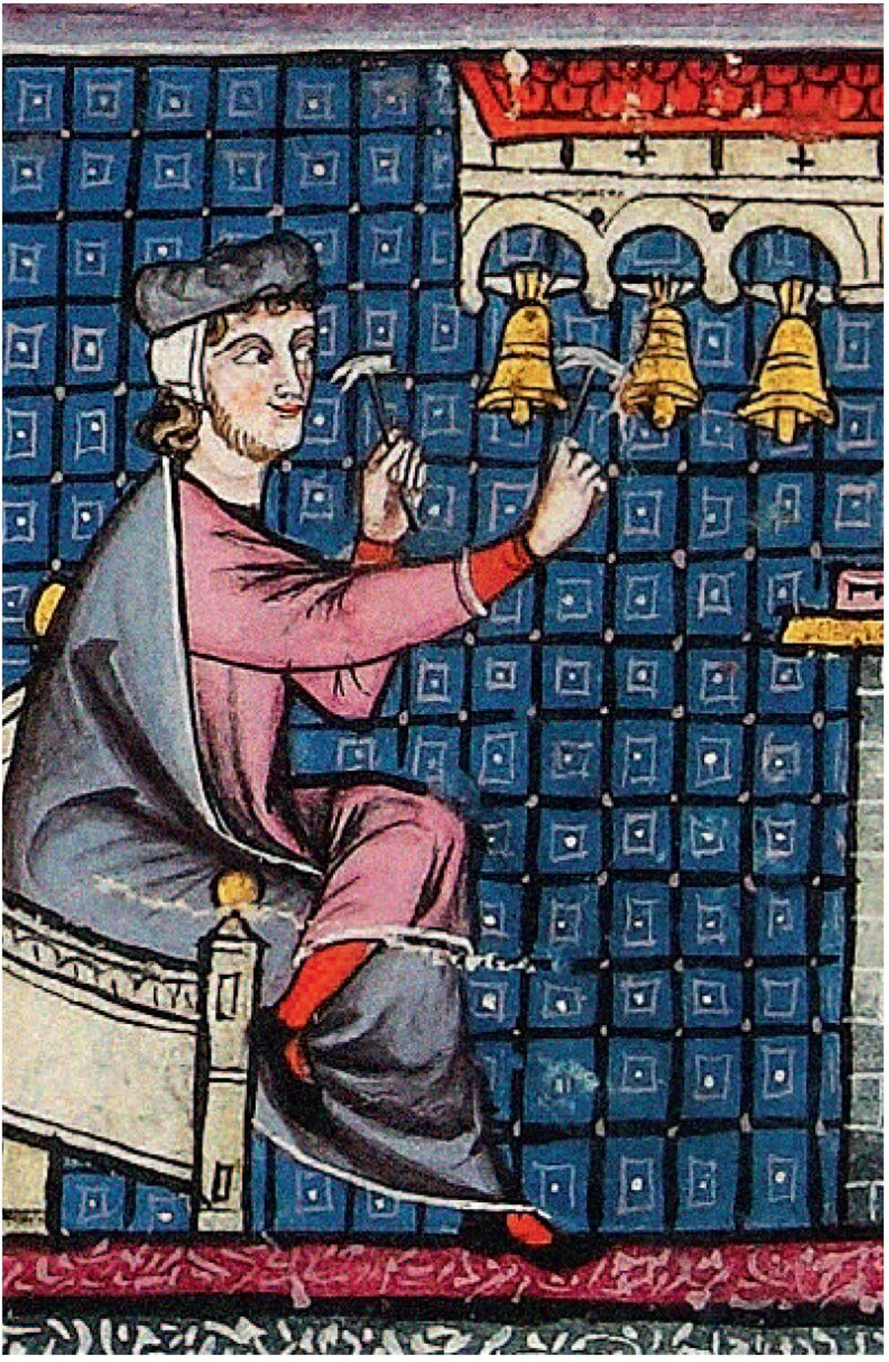
◆◆◆ de la musique, avant tout *« une science qui manifeste les proportions et les mesures parfaites du monde »*. Si les théologiens s'intéressent tant à la musique au début du Moyen Âge, c'est qu'elle est d'abord un « instrument » du christianisme, célébrant Dieu et la beauté du monde. Cette musique liturgique s'épanouit sans instrument. Seule la voix compte. La psalmodie (déclamation d'un texte sur une seule note) laisse très vite place au chant monodique (une seule et même mélodie), avec la volonté de faire correspondre le mot et le son pour en faire émerger le sens. Dès le VIII^e^ siècle, le chant grégorien (exemple même du chant monodique) s'impose dans toute l'Europe grâce aux moines voyageurs. Un chant *a cappella* pour plusieurs voix d'hommes, de femmes ou d'enfants à l'unisson, une musique uniforme et cohérente qui se transmet oralement. C'est par cœur que le moine apprend un psaume qu'il récite, et c'est également par cœur qu'un chantre l'interprète. Dans certains ordres monastiques, un moine peut ainsi s'exercer jusqu'à huit heures par jour. Par ailleurs, l'Église établit une hiérarchie entre le *cantor* et le *musicus*. Le premier ne serait qu'un exécutant, quand le second, qui compose, comprendrait l'essence divine de la musique. Jusqu'à l'époque carolingienne, la musique s'ancre donc dans une pensée mathématique, philosophique et religieuse. Comme le résume Olivier Cullin, professeur de musicologie médiévale, dans son *Guide de la musique du Moyen Âge*, *« la musique est avant tout une clef pour appréhender le monde »*.

Des accents pour les sons aigus, des points pour les sons graves

Mais dès le IX^e^ siècle, on peut commencer à parler de bouleversement musical, du moins en Occident, puisque apparaissent les premières notations écrites. Certes, il faudra plusieurs siècles pour pouvoir véritablement parler de partitions, mais la révolution est en marche, avec notamment l'apparition des neumes. Du grec *neuma* (*« inclinaison »*), ce sont de petits signes inventés par les moines, composés d'accents pour les sons aigus, de points pour les sons graves. Ils sont dessinés de manière à indiquer la forme générale d'une mélodie. Les neumes transcrivent donc une formule mélodique et rythmique appliquée à une syllabe, mais sans indiquer la hauteur exacte des notes. Très utilisés pour les chants grégoriens, ils sont placés au-dessus du texte qui doit être chanté, pour guider le chantre. Au fil des années, le système va se perfectionner, tant sur le plan mélodique que dynamique.

Au IX^e^ siècle, une invention va révolutionner l'écriture musicale : le recours à des lignes tracées sur le parchemin. D'abord une seule, dessinée « à la pointe sèche », autour de laquelle on dispose les neumes, puis, peu à peu, une deuxième (cette fois à l'encre), puis une troisième, et jusqu'à quatre. Progressivement, les neumes vont se transformer en notes de forme carrée. L'apport du moine bénédictin Guido, ou Guy, d'Arezzo (992-1033) s'avère fondamental dans cette lente révolution de l'écriture musicale. Pédagogue génial, il est à l'origine du système occidental de dénomination des notes. Pour les désigner, il utilise les premières syllabes d'un hymne à saint Jean Baptiste (l'*Ut queant laxis*) : Ut-Re-Mi-Fa-Sol-La*. Une notation qui va s'imposer dans les pays de langue romane (France, Italie, Espagne et Portugal). Guido d'Arezzo est aussi l'inventeur de l'hexacorde, une

À PARTIR DU IX^E^ SIÈCLE, L'ÉCRITURE MUSICALE VA PERMETTRE NON SEULEMENT DE TRANSMETTRE PLUS FIDÈLEMENT LES ŒUVRES, MAIS AUSSI DE COMPLEXIFIER LA MUSIQUE



FINE ART IMAGES/HERITAGE IMAGES/ COLL. CHRISTOPHEL

Le manuscrit des Cantigas de Santa Maria a été composé au XIIIe siècle, pendant le règne d'Alphonse X de Castille. Recueil inestimable de chants monodiques médiévaux occidentaux, il documente également les instruments de l'époque (ici, flûtes, vièles et cloches).

série de six notes séparées par un ton, sauf la troisième et la quatrième dont l'intervalle n'est que d'un demi-ton. L'écriture musicale va permettre non seulement de transmettre plus fidèlement les œuvres, mais aussi de complexifier la musique. Meilleure preuve de cette révolution : l'essor de la polyphonie. Le chant grégorien ne disparaît pas, mais certains centres se spécialisent dans le travail à plusieurs voix et plusieurs mélodies, comme l'école de Notre-Dame à Paris, à partir du XIIe siècle. Elle insiste sur la pulsation rythmique et offre des compositions allant jusqu'à quatre voix. Parmi ses compositeurs les plus célèbres, on peut citer Léonin et Pérotin, dont les œuvres sont toujours jouées aujourd'hui.

Toujours au XIIe siècle, une autre forme de musique prend son essor, célébrant non plus Dieu, mais la vaillance d'un chevalier ou son amour pour la dame (la *fin'amor,* en occitan). Symbole de cette musique profane, le troubadour est tout à la fois poète, compositeur, auteur et chanteur. Il s'exprime en langue d'oc, abandonnant donc le latin au profit de la langue vulgaire (comme le trouvère en pays d'oïl). Parfois membre de la noblesse, le troubadour s'accompagne le plus souvent d'un luth ou d'une vièle.

On ne rencontre aujourd'hui pratiquement plus d'instruments datant de cette période. Il existe toutefois au British Museum un exemplaire d'une citole (un instrument à cordes pincées) du milieu du XIVe siècle. On a également retrouvé en Europe du Nord plusieurs flûtes à bec, dont une à Göttingen, en Allemagne, datant de la même époque. Les instruments étaient pourtant nombreux au Moyen Âge. Le manuscrit des *Cantigas de Santa Maria*, qui date du XIIIe siècle, contient ainsi 427 chansons, illustrées par des enluminures représentant des musiciens accompagnés de leurs instruments. Parmi ces derniers, on opère une distinction entre les hauts et les bas, définis selon leur sonorité ou leur emploi. Il y a ceux dont on joue en plein air (tambours, cornemuses) et ceux que l'on utilise pour la musique d'intérieur, comme la harpe ou la flûte. Parmi les instruments les plus représentés, on peut citer le luth ou la vièle, avec des variations en fonction des époques. Une vièle possédera par exemple trois ou cinq cordes, ce qui met en évidence l'évolution que cet instrument a connue à travers les âges. Les dix siècles du Moyen Âge auront donc transformé une musique mathématique en un art à part entière. L'invention de l'imprimerie et son développement dans toute l'Europe vont permettre une plus large diffusion des œuvres et une harmonisation de la notation. La Renaissance peut débuter.

RENAUD BLANC

Françoise Ferrand (dir.), *Guide de la musique du Moyen Âge*, Fayard, 1999

Olivier Cullin, *Brève histoire de la musique au Moyen Âge*, Fayard, 2022

CD audio
Brigitte Lesne / Schola de la Sainte-Chapelle, *Splendeurs de l'Ars Nova,* Bayard Musique, 2025

* C'est au XVIe siècle que le *si* est apparu et que le *ut* s'est transformé en *do* (pour *Dominus*).

3 questions

FANNY COHEN MOREAU

Brigitte Lesne

Chanteuse, harpiste, fondatrice de l'ensemble Discantus

« Découvrir ces premières notations musicales, c'est fascinant »

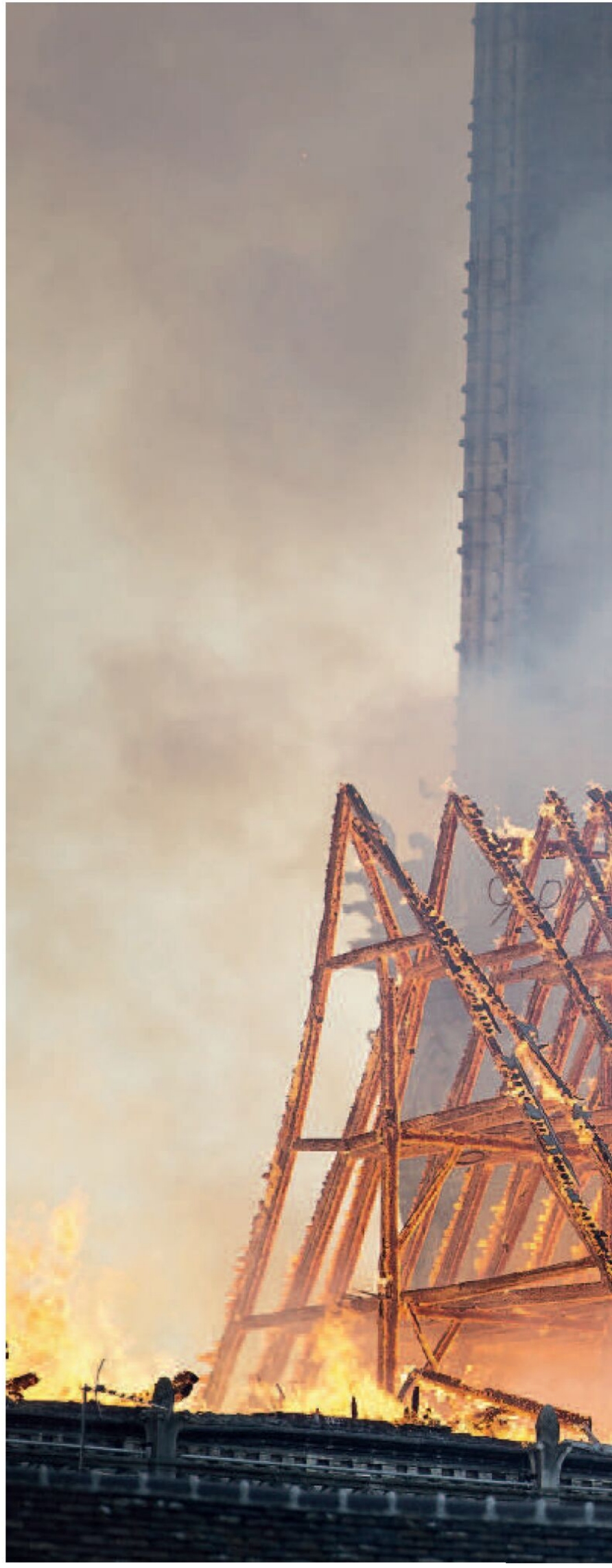
Comment vous est venue la passion de la musique médiévale ?
Dans les années 1970, presque par hasard, j'ai découvert des chansons d'amour du XIIIe siècle. En entendant pour la première fois le contre-ténor Jean Belliard, j'ai été marquée par son timbre, mais aussi par le style musical très épuré, sans artifice : une monodie accompagnée par un luth, extrêmement émouvante.

Peut-on parler d'unité musicale au Moyen Âge ?
Il y a environ sept siècles entre les premières notations et la Renaissance. Il faut donc bien sûr distinguer les styles et genres musicaux en fonction des époques, même s'il y a durant toute la période une grande perméabilité entre les répertoires sacré et profane. La connaissance des chants liturgiques et de la modalité grégorienne (les échelles mélodiques employées) est une clé indispensable pour se plonger dans cet univers.

Comment redonnez-vous vie à une chanson ?
La première démarche consiste à se tourner vers les manuscrits. C'est un grand bonheur que de pouvoir travailler sur ces codex chargés d'histoire, parfois de véritables œuvres d'art. Cette étape visant à découvrir et comprendre les premières notations est fascinante. À partir des transcriptions, c'est ensuite à nous, musiciens, de faire le reste, car pour l'accompagnement des chansons, par exemple, rien n'est indiqué dans les manuscrits. Tout est à « re-créer »…

PROPOS RECUEILLIS PAR R. B.

Notre-Dame en chantier, du XII^e au XXI^e siècle



L'incendie de Notre-Dame de Paris, en 2019, a permis de révéler certaines des prouesses des bâtisseurs médiévaux pour construire toujours plus haut et plus lumineux.

On l'appelait la « forêt ». Cette immense charpente posée à 35 mètres au-dessus de la nef et du chœur de Notre-Dame de Paris impressionnait par la densité de ses fermes : des armatures en chêne triangulaires larges de quatorze à seize mètres et hautes de douze à treize, rigoureusement alignées sur une longueur totale de 75 mètres. Elles ont supporté pendant plus de 800 ans une toiture de plomb pesant la bagatelle de 175 tonnes, sans compter les 60 tonnes de la flèche. Mais le 15 avril 2019, la « forêt » part en fumée. *« Sur le moment, je n'imaginais pas qu'elle pourrait être entièrement détruite »*, se rappelle l'archéologue Frédéric Épaud, directeur de recherche au CNRS, archéologue et spécialiste des charpentes médiévales, qui a participé aux études pour sa reconstruction.

Érigée sur d'anciennes fondations romanes, Notre-Dame de Paris sort de terre en 1163, au milieu de ce XII^e siècle qui connaît un essor économique et culturel intense. Le pouvoir de l'Église catholique se développe considérablement. *« Partout, on bâtit des églises, des abbayes, des collégiales, dans ce nouveau style gothique qui pointe vers les cieux »*, observe Frédéric Épaud. Il faut construire toujours plus haut, plus aérien, plus léger, tout en faisant entrer la lumière divine par des baies situées à des hauteurs vertigineuses, et plus spacieux aussi. Ces défis stimulent les bâtisseurs de cathédrales : l'art gothique va bientôt rayonner sur le nord-ouest de l'Europe.

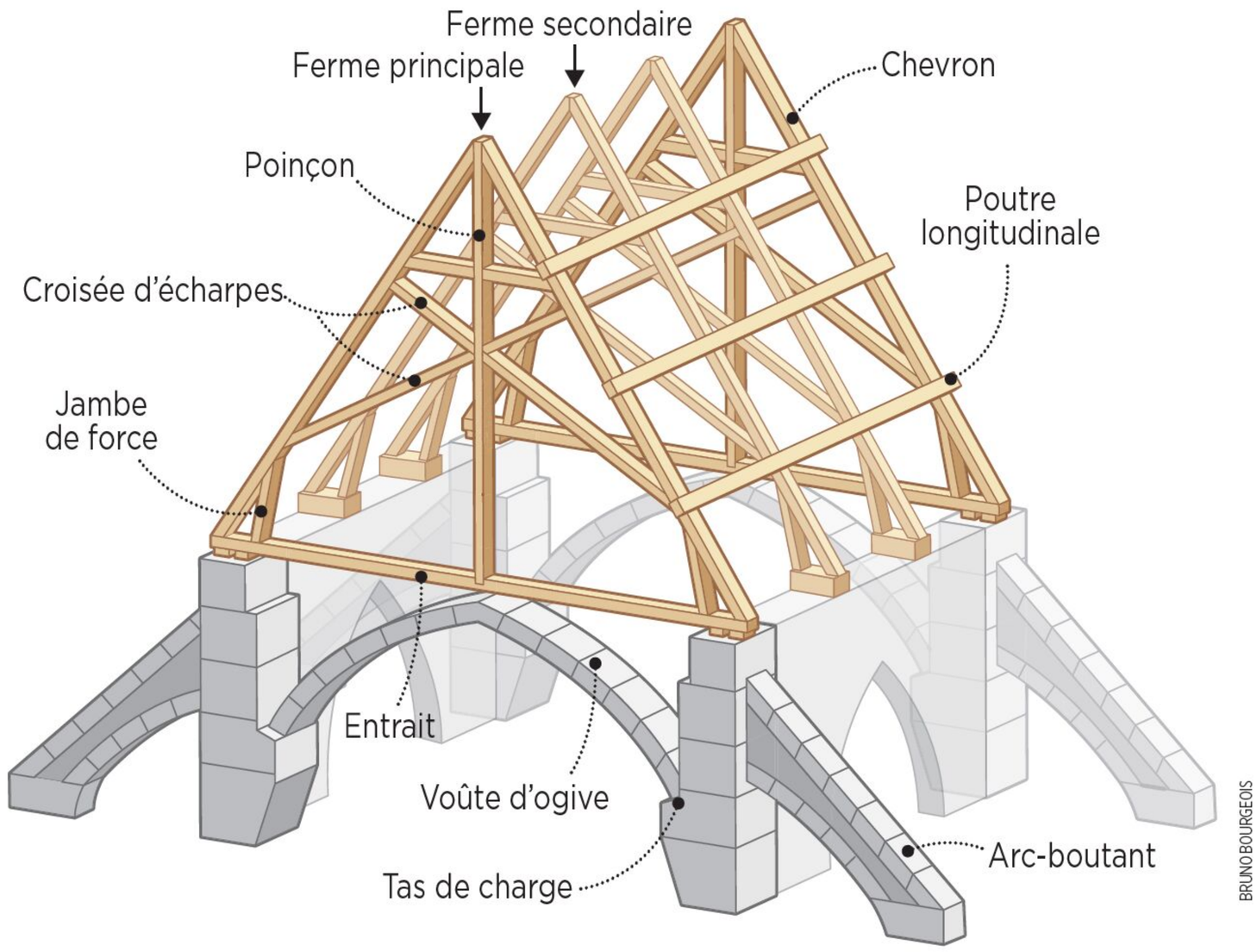
À 30 mètres de hauteur, des voûtes plus légères qu'il n'y paraît

Tout commence vers 1130 avec la basilique Saint-Denis, que l'abbé Suger, ministre royal, fait reconstruire en introduisant les nouveautés gothiques : les voûtes d'ogives, connues déjà dans le monde musulman, le chœur à double déambulatoire et les immenses vitraux. Puis d'autres chantiers sont lancés. Les techniques se perfectionnent. L'arc-boutant, nouveau dispositif de soutien introduit dans la seconde moitié du XII^e siècle, permet de gagner en hauteur : en renforçant les murs à l'extérieur, il réduit la poussée latérale des voûtes d'ogives posées de plus en plus haut. Lorsque sa construction est achevée, vers la fin du XIII^e siècle, non seulement la cathédrale Notre-Dame de Paris figure parmi les plus hautes du monde – 32 mètres sous la voûte, 69 en haut des tours –, mais elle constitue aussi un chef-d'œuvre de finesse et d'équilibre. *« Les arcs-boutants, les voûtes et la charpente n'ont pas bougé en huit siècles ! »*, salue Pascal Prunet, l'un des architectes de sa reconstruction. Mais comment ces maîtres d'œuvre anonymes sont-ils parvenus à une telle prouesse ? Organisé en groupes par métier, le colossal chantier de reconstruction qui a suivi l'incendie de 2019 a permis de lever certains mystères. Ainsi, le groupe des matériaux et des structures s'est attaqué aux mécanismes de la répartition des forces sur l'édifice. Lorsque les voûtes transpercées par la flèche se sont effondrées, leurs parties basses, ou tas de charge, et les arcs-boutants sont restés en place, à la grande surprise des architectes. Les tas de charge étaient en fait logés dans les murs et

ELIOT BLONDET/ABC/ANDIA.FR

Lors de l'incendie du 15 avril 2019, les flammes ont dénudé la charpente un court instant avant de détruire la « forêt » de chênes qui résistait depuis huit cents ans.

alignés avec les arcs-boutants. Grâce à cet ingénieux système de report de charge, les bâtisseurs ont réussi à poser les voûtes, plus étroites et légères qu'il n'y paraît, à plus de 30 mètres de hauteur sur des murs fins – de 60 centimètres seulement d'épaisseur – percés de grandes ouvertures pour la lumière. Les murs vont révéler une seconde innovation. Pour la première fois, grâce à la disparition de la charpente, les scientifiques ont accédé au sommet de l'édifice. *« Et là, à plus de 30* ◆◆◆



BRUNO BOURGEOIS

3 questions

MATHILDE BERNARD

Maxime L'Héritier

Coordinateur du groupe de restauration « Métal »

« Dans les murs, un millier d'agrafes de fer ! »

La découverte d'agrafes de métal dans les murs de Notre-Dame a-t-elle été une surprise ?
Oui, car cette pratique n'existait pas encore au début de sa construction. Nous en avons trouvé dans le haut des murs, puis dans les tours, les tribunes et, grâce au détecteur de métal, dans les colonnettes de la nef, soit près d'un millier en tout. Si bien qu'on peut parler d'une véritable ossature de métal qui a servi lors de l'édification du bâtiment. Toutes les grandes cathédrales érigées ensuite – Chartres, Bourges, Reims – en ont été pourvues.

De quel métal s'agissait-il ?
Du fer produit par réduction du minerai dans des bas fourneaux. Il provient d'au moins cinq ou six sources différentes. Et une partie émane de fer recyclé. Les agrafes étaient fabriquées par différents forgerons, dont on reconnaît les techniques de finition.

À part dans les agrafes, où trouvait-on du métal dans les cathédrales ?
On utilisait du plomb pour sceller les fers et certaines pierres, pour lier les pièces de verre des vitraux, pour les toitures, et plus tard pour les décors.

◆◆◆ *mètres de hauteur, nous avons découvert des quantités d'agrafes en métal scellées dans la maçonnerie* », s'étonne encore l'archéologue Maxime L'Héritier, coordinateur du groupe « Métal » *(lire l'interview ci-dessus)*.
Reste la splendide « forêt ». Comment la reconstituer à l'identique ? Par chance, un relevé très précis en avait été exécuté en 2014 par deux architectes en formation, Rémi Fromont et Cédric Trentesaux. Devenu entre-temps un des responsables du chantier de restauration, Rémi Fromont précise : *« Éclairés à la lampe de poche, nous avons dessiné tout ce nous voyions et établi le plan complet à partir de relevés – au laser – de dizaines de milliers de points. »* Un document essentiel, mais pas suffisant : *« Il fallait aussi dater les bois »*, explique Frédéric Épaud. Pour cela, il lance un appel sur Internet à tous les charpentiers et spécialistes du patrimoine qui ont « visité » la charpente. *« J'ai pu récolter un millier de photos : si le bois est taillé à la hache, il date du Moyen Âge ; s'il est scié, il est plus récent*, précise l'archéologue. *Les assemblages du Moyen Âge sont d'une qualité d'exécution exceptionnelle. Le XIIIe siècle fut le siècle d'or de la charpenterie. »*

Les plus grandes charpentes jamais construites à ce jour

L'avènement de l'architecture gothique a en effet forcé à revoir de fond en comble la conception des charpentes. Dans les églises romanes, celles-ci sont relativement basses (moins de 20 mètres), de faible pente, et seulement constituées d'une succession de fermes à entrait, c'est-à-dire de grands triangles de bois reliés à la base par une poutre. Elles reposent sur des murs épais qui en portent tout le poids. Avec l'architecture gothique, la charpente doit supporter des toitures plus lourdes, à une hauteur plus élevée, tout en s'appuyant sur des murs plus fins. Pour couvrir ces grandes surfaces, on a commencé par structurer la charpente en travées constituées d'une ferme principale avec entrait et d'une succession de fermes secondaires sans entrait *(voir l'infographie p. 75)*. Mais ce faisant, on a augmenté la poussée latérale sur les murs. Il a donc fallu apprendre à mieux répartir les charges. Les charpentiers ont trouvé la solution : augmenter la pente des toits.
D'autres innovations ont vu le jour : l'ajout d'un poinçon, pour soulager l'entrait de son propre poids, ou les croisées d'écharpes limitant l'écartement des fermes. Des poutres longitudinales ont aussi été introduites afin de soulager les fermes secondaires en reportant leur poids au niveau des fermes principales, elles-mêmes consolidées par des triangles. Enfin, des arcs-boutants dits « sommitaux » furent placés au niveau du haut de la toiture.

1200 chênes pour la cathédrale de Bourges, prévus 26 ans auparavant

Au-delà de cette structure innovante, deux autres facteurs ont contribué à la longévité des charpentes gothiques, qui restent les plus grandes jamais construites à ce jour : l'équarrissage du bois à la hache (doloire) et la qualité des chênes. *« Chaque poutre correspond à un arbre entier, jeune – moins de 70 ans, en général –, longiligne – 23 à 27 centimètres de diamètre –, équarri à la hache dans le sens des fibres, ce qui garantit la flexibilité et la stabilité de la structure »*, admire Frédéric Épaud, qui précise : *« Une charpente de cathédrale nécessitait souvent l'abattage de près d'un millier de chênes de ce type, ce que permettait la sylviculture pratiquée alors : obtenus par simple rejet de souche, les jeunes arbres se développaient rapidement, sans branches basses, dans une forêt dense. »* Il fallait toutefois anticiper les chantiers. Pour la charpente de la cathédrale de Bourges (1256-1257), l'approvisionnement – 1 200 chênes ! – avait été prévu vingt-six ans auparavant. Pour reconstruire celle de Notre-Dame, les méthodes actuelles de sylviculture ne permettant pas d'en prélever autant dans le temps imparti, on a triché un peu en choisissant des chênes un peu plus gros et un peu plus vieux (jusqu'à 120 ans) que l'on a sciés d'abord, avant de les équarrir à la hache… comme au Moyen Âge.

MARIE-LAURE THÉODULE

GIANNI DAGLI ORTI / AURIMAGES

Drapier au travail. Vitrail de la collégiale Notre-Dame de Semur-en-Auxois (Côte-d'Or) datant du XVe siècle (détail).

Enluminer le verre, tout un savoir-faire

Du dessin des motifs à la cuisson du verre, de la découpe à la mise en plomb, l'art du vitrail requiert une succession de techniques et de gestes délicats… et des peintres verriers hors pair.

Peinture de lumière aux couleurs profondes et chatoyantes, le vitrail est l'art emblématique du Moyen Âge. On pourrait presque dire qu'il naît avec la période. Selon Sylvie Balcon-Berry, historienne de l'art, c'est en effet à partir du Ve siècle que se développe le sertissage au plomb, qui va lui permettre de se déployer. *« C'est un matériau bon marché et facile à travailler*, rappelle Michel Hérold, conservateur honoraire du patrimoine, *car on le fond à basse température. Et très souple, qui s'adapte à toutes les formes de découpe du verre. »*

Pour réaliser les pièces qui vont s'insérer dans la résille de plomb, les peintres verriers se procurent du verre teinté dans la masse. Jusqu'au VIIe siècle, le choix est limité : bleu clair, jaune, verdâtre… Les couleurs sont obtenues grâce à des oxydes mélangés à la matière vitreuse : oxyde de cobalt pour le bleu, oxyde de fer pour le vert ou encore de manganèse pour le violet. Peu de rouge, car il assombrit trop le verre. Mais dès le VIIIe siècle, la palette s'élargit. *« C'est le dosage des oxydes métalliques qui va donner tel ou tel type de nuance, telle ou telle couleur »*, souligne Karine Boulanger, ingénieure de recherche au CNRS. Le rouge devient plus présent car les souffleurs de verre alternent désormais des couches de verre incolore et rouge pour obtenir une teinte plus claire.

À partir du tout début de l'époque carolingienne, les pièces sont peintes, après découpe, en grisaille, une peinture qui cuit sur le verre. Une invention importante d'un point de vue esthétique, et qui change aussi l'organisation des ateliers. *« Dans un des plus anciens traités sur le sujet, rédigé au XIIe siècle, le moine Théophile explique que, pour réaliser des vitraux, il faut disposer de petits fours dans lesquels on va placer les pièces découpées et peintes »*, raconte Sylvie Balcon-Berry.

Du doré à l'orange, le magnifique éclat du jaune d'argent

Vers 1300, une nouvelle technique apparaît : le jaune d'argent. *« C'est une peinture à base de limaille d'argent,* explique Karine Boulanger. *Elle pénètre dans le verre lors de la cuisson – alors que la grisaille reste en surface – et le teint d'un jaune allant du doré à l'orange en fonction de la quantité d'ocre utilisée dans le liant. »* Sur un verre transparent, on peut ainsi peindre une chevelure jaune et dessiner un visage en grisaille ; sur un verre bleu, dessiner des détails verts. *« Cette technique révolutionne le vitrail,* résume Sylvie Balcon-Berry : *sur une même plaque de verre, on peut mettre deux couleurs sans les séparer par un plomb. » « À cette époque, on veut des vitraux clairs, brillants*, explique Michel Hérold. *Le jaune d'argent devient alors très intéressant, car il permet de donner un magnifique éclat. »* Et ouvre la voie aux grandes verrières du XVe siècle. De véritables tableaux de lumière, dont les cartons sont réalisés par les plus grands peintres du temps. **MARIKA JULIEN**

MAPPEMONDES, ATLAS ET PORTULANS

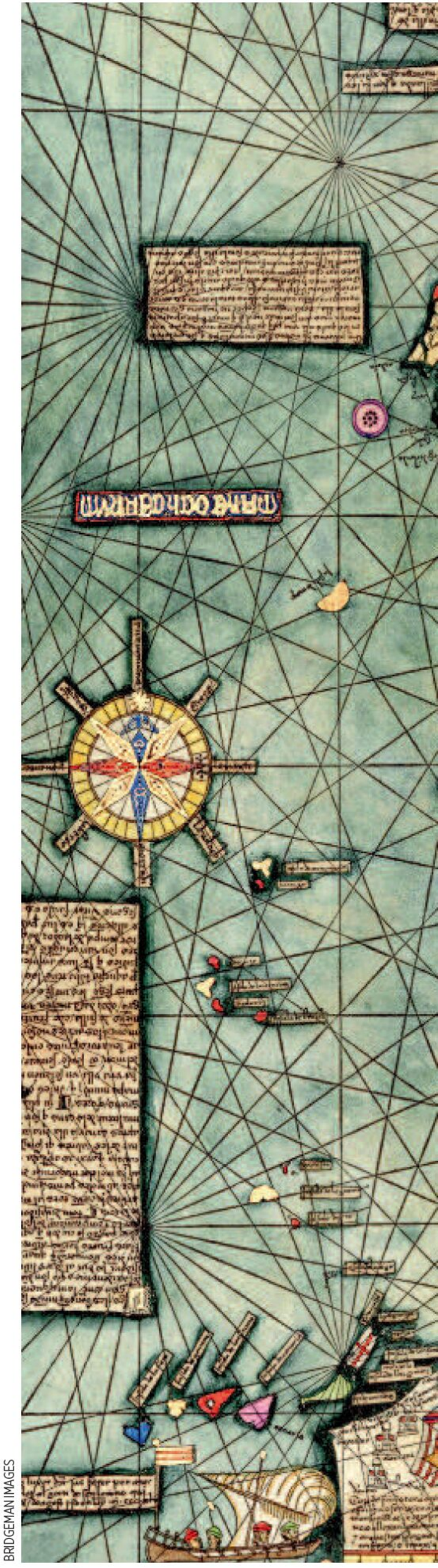
Cartographier le monde, au Moyen Âge, c'est d'abord compiler le savoir géographique de l'époque sur des supports encore empreints de merveilleux. De véritables chefs-d'œuvre.

Erdapfel. « Pomme de Terre », en allemand. C'est ainsi que le commerçant et cartographe Martin Behaim désigne le globe qu'il fait réaliser vers 1492 par les artisans de la ville de Nuremberg (Allemagne). Plus ancien globe terrestre conservé, il réunit l'ensemble du savoir géographique de son temps et illustre la façon dont les Européens voient le monde à la fin du Moyen Âge. Si la sphéricité de la Terre ne fait guère de doute depuis l'Antiquité, les réalités géographiques restent imprécises : l'Eurasie est démesurée, l'océan Indien parsemé d'îles disséminées au hasard, et une vaste étendue d'eau occupe l'endroit où devrait se trouver l'Amérique, sur le point d'être « découverte ». Le tracé des côtes et la vision du monde s'appuient sur des récits de voyageurs, des témoignages indirects… et des cartes antiques.

Le début du Moyen Âge hérite très largement des connaissances des savants latins. « *Chez Macrobe et Martianus Capella, la géographie prend la forme d'une réflexion sur les zones climatiques habitables ou non ; et dans l'*Histoire naturelle *de Pline l'Ancien, d'une description des régions et des peuples* », explique l'historienne Emmanuelle Vagnon, chercheuse au CNRS et spécialiste de la cartographie médiévale occidentale. Ces connaissances sont compilées par des érudits chrétiens du haut Moyen Âge comme Paul Orose (vers 380-418), Isidore de Séville (vers 560-636), puis Beatus de Liebana (vers 730-vers 798). Dès l'époque carolingienne, deux types de représentations de la Terre ont cours. Certaines divisent la sphère terrestre en zones de différentes températures, comme on le voit dans le *Commentaire sur le Songe de Scipion* de Macrobe (V^e^ siècle). Selon cette conception, le monde est ceinturé par deux océans : l'un entre les pôles, l'autre autour de l'équa-

ROLAND AND SABRINA MICHAUD / AKG

Le géographe arabe Al-Idrisi a dessiné cette carte en 1154. Orientée Sud-Nord, elle représente l'Europe (en bas à dr.) et l'Asie (en bas à g.), qui font face à l'Afrique (reproduction réalisée en 1456).



BRIDGEMAN IMAGES

Catherine Hofmann, Hélène Richard et Emmanuelle Vagnon (dir.), *L'Âge d'or des cartes marines : quand l'Europe découvrait le monde*, BN/ Seuil, 2012

Jean Leveugle et Emmanuelle Vagnon, *Geographia. L'odyssée cartographique de Ptolémée*, BNF Éditions/Futuropolis, 2024

Marco Polo *Le Devisement du monde*, traduit et commenté par Michel Quereuil, Les Belles Lettres, 2024

Site Web Trente cartes qui racontent l'histoire de la cartographie, ign.fr https://sciav.fr/histoire-IGN

teur. Par ailleurs, on distingue au centre de la sphère terrestre une zone dite « torride », trop chaude pour être franchie (une idée qui a perduré au moins jusqu'au XIII[e] siècle) ainsi que deux autres aux pôles, glaciales et tout aussi hostiles. S'y ajoutent deux régions, intermédiaires et tempérées : celle au nord est habitée par les humains, tandis qu'au sud, une « Terre des Antipodes » hébergerait des êtres dont les pieds seraient situés à l'opposé des nôtres, reflétant ainsi un imaginaire qui s'imbrique dans celui de l'« Orient merveilleux » *(lire l'encadré p. 80). « L'existence de cette terre est contestée par saint Augustin, mais la question est discutée jusqu'à l'époque moderne »*, précise la chercheuse. L'autre vision est celle des « cartes en TO » (pour Terrarum Orbis), où le monde habité (l'œkoumène) est figuré par un cercle partagé en trois parties distinctes (Asie, Afrique, Europe). *« À ce discours théorique purement géographique s'ajoute la légende de la descendance de Noé, puis d'autres lieux importants pour les chrétiens »*, complète Emmanuelle Vagnon. Les noms des fils du patriarche (Sem, Japhet et Cham) qui ont amorcé le repeuplement des nations après le Déluge sont ainsi respectivement associés à l'Asie, l'Europe et l'Afrique. Chef-d'œuvre plus tardif, plus élaboré et richement orné, la *mappa mundi* de la cathédrale de Hereford (Angleterre, fin du XIII[e] siècle) est un illustre exemple de mappemonde typique des monastères, où l'humanité est racontée d'un point de vue chrétien. Y figurent l'arche de Noé, la tour de Babel et les cités de Sodome et Gomorrhe, ainsi que Jérusalem en position centrale. La carte est par ailleurs orientée à l'Est. *« C'est très souvent le cas des cartes médiévales occidentales, s*ouligne l'historienne. *L'Orient, c'est l'endroit où le soleil se lève, où l'on place le paradis en référence à la Genèse, l'origine* ◆◆◆

Le bassin méditerranéen représenté dans l'Atlas catalan, réalisé en 1375 par le cartographe juif majorquin Abraham Cresques et destiné au roi de France Charles V. Ce document est à la fois une carte nautique (avec notamment une rose des vents) et une représentation imagée où souverains exotiques et caravanes de chameaux côtoient îles pierres précieuses et personnages bibliques.

◆◆◆ *du monde. »* Sur une île, tout en haut du disque terrestre, Adam et Ève se tiennent devant l'arbre de la Connaissance autour duquel s'enroule le serpent tentateur…

Dès le XIe siècle, avec les croisades, les contacts s'étaient multipliés entre l'Orient et l'Occident. Couronné à Palerme en 1130, le roi normand Roger II de Sicile accueille ainsi à sa cour des savants. *« La Sicile, qui a appartenu à l'Empire byzantin, aux Arabes et aux Normands, est un carrefour de peuples et de cultures. À la cour du roi, on parle aussi bien latin qu'arabe »*, note la chercheuse. Le géographe musulman Al-Idrisi compose pour lui en arabe le *Livre de Roger* (1154), un panorama de l'œkoumène illustré de cartes mondiales et régionales. Outre des sources arabes, Al-Idrisi a lu la *Géographie* du savant grec Claude Ptolémée (Vers 90-168), qui n'est plus copiée en Occident depuis le IVe siècle mais est traduite, complétée et amendée dès le IXe siècle par les cartographes arabes.

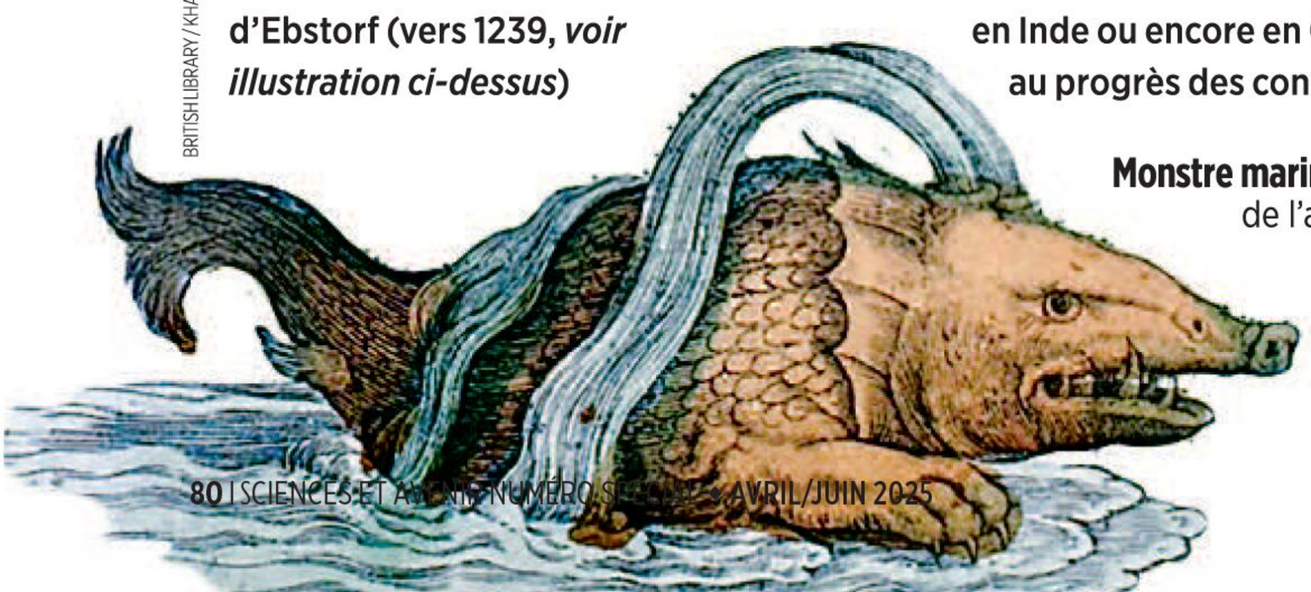
Un rapport mathématique entre l'espace réel et sa représentation

Au XIIIe siècle, les puissantes cités maritimes d'Italie (Pise, Gênes, Venise) et Majorque (Baléares) élaborent des cartes nautiques dites « cartes portulans » (de l'italien *portolano,* un texte qui décrit les ports et les moyens d'y accéder). Non signée, abîmée et sans décor, la Carte pisane (fin du XIIIe siècle) est la plus ancienne de ce type qui nous soit parvenue. Les noms des ports y sont inscrits en rouge ou noir selon leur importance. *« Ces cartes respectent la forme des côtes de la mer Méditerranée, de la mer Noire et, peu à peu, de l'Atlantique. Elles utilisent une échelle de distance qui établit un rapport mathématique entre l'espace réel et l'espace représenté. Des "lignes des vents" indiquent également les directions de la boussole. Ce respect des distances et des orientations marque un tournant majeur,* note l'historienne. *Chaque ville développe un style spécifique. Les cartographes juifs de Majorque, par exemple, sont réputés pour leurs cartes ornementales qui foisonnent d'animaux, de pavillons, de vignettes urbaines, et s'accompagnent de légendes explicatives. »* Attribué au Majorquin Abraham Cresques et destiné au roi de France Charles V, l'Atlas catalan (1375), recueil de cartes enluminées d'une grande qualité esthétique, est représentatif de ces exemplaires

FINE ART IMAGES/HERITAGE IMAGES/COLL. CHRISTOPHEL

Au pays des grands pieds et des longues oreilles

Depuis l'Antiquité, l'Inde et l'Afrique se confondent, aux yeux des Européens, dans un « Orient merveilleux » aux contours flous. Ces terres aux limites du monde connu sont réputées fourmiller de merveilles, d'êtres fabuleux et de créatures difformes. La mappemonde du *Beatus de Saint-Sever* (XIe siècle) mentionne ainsi qu'en Inde, on rencontre *« des dragons ainsi que des monocéros »*. Sur les cartes très élaborées du couvent d'Ebstorf (vers 1239, *voir illustration ci-dessus*) ou de Hereford (fin du XIIIe siècle), les terres foisonnent de licornes et de griffons, tandis qu'on trouve dans les marges des blemmyes au visage situé au milieu du torse, des panotéens aux longues oreilles, des sciapodes qui se servent de leur unique et énorme pied comme d'une ombrelle… Des croyances héritées des savants de l'Antiquité. Profitant de la Paix mongole (1250-1350), marchands et missionnaires voyagent en Asie centrale, en Inde ou encore en Chine et contribuent au progrès des connaissances. Sur l'Atlas catalan (1375), la caravane qui chemine dans le désert de Lop Nor (Chine) est directement inspirée du récit du marchand vénitien Marco Polo, *Le Devisement du monde* (1298). Une sirène, des Pygmées et des îles semblables à des pierres précieuses remplissent les espaces asiatiques de cet atlas qui fait la part belle aux figures « royales » réelles… ou légendaires. À l'Extrême-Orient apparaît Alexandre le Grand, qui voyagea jusqu'aux rives de l'Indus au IVe siècle av. J.-C. Le *Roman d'Alexandre,* une épopée à succès, lui prêtera moult aventures. On y retrouve aussi le roi du Mali Mansa Moussa (XIVe siècle), qui possédait, dit-on, des richesses considérables. Les explorations du XVe siècle ne tueront pas les mythes… L. B.



BRITISH LIBRARY/KHARBINE/LA COLLECTION

Monstre marin illustrant une carte de l'atlas *Theatrum Orbis Terrarum*, réalisé en 1570 par l'Anversois Abraham Ortelius.

La carte d'Ebstorf a été tracée en Allemagne vers 1239. Jérusalem est en son centre, tandis que le Christ est représenté (tête, mains et pieds) en périphérie.

luxueux que leurs riches commanditaires (rois, armateurs…) conservent dans leur bibliothèque pour se faire une idée du monde.

Au début du XV^e siècle, la traduction en latin de la *Géographie* de Ptolémée constitue un nouveau tournant. Sa méthode est alors redécouverte. *« Elle se fonde sur des coordonnées géographiques en latitude et en longitude et sur une projection cartographique qui prend en compte la sphéricité de la Terre… soit les conventions de la cartographie moderne ! »*, indique l'historienne. Mais le savant grec est déjà dépassé. *« La découverte de nouvelles terres à la fin du XV^e siècle permet d'étendre la représentation du monde à l'ensemble du globe,* complète Emmanuelle Vagnon. *Ses coordonnées géographiques sont peu à peu mises à jour, les noms de lieux modernisés, les contours des continents, et même sa méthode de projection cartographique, améliorés. »* C'est l'époque où le navigateur portugais Bartolomeu Dias double le cap de Bonne-Espérance (1488), révélant, au sud de l'Afrique, un passage vers l'océan Indien. Une route que Vasco de Gama empruntera dix ans plus tard pour aborder l'Inde. Entre-temps, Christophe Colomb, parti vers l'ouest en 1492 dans l'espoir de gagner l'Asie, a atteint les Bahamas. Puis, en 1498, il aborde sans le savoir un nouveau continent, l'Amérique…

Les cartes portulans et les principes de Ptolémée ont ouvert la voie aux planisphères, qui apparaissent après le tour du monde du Portugais Magellan (1519-1522) et représentent les deux hémisphères en projection plane. Par ailleurs, les références bibliques s'estompent peu à peu des cartes. Déjà vers 1450, le moine vénitien Fra Mauro établissait une mappemonde où le paradis, qu'il considère comme le symbole d'un monde céleste perdu et non comme un lieu réel, est placé… à l'extérieur de la carte ! *« Un choix peu fréquent à l'époque, qui marque le début d'un passage à la rationalité »*, analyse la chercheuse. Mais l'imaginaire ne disparaît pas pour autant. *« Les cartes de la Renaissance sont couvertes de monstres marins et de figures mythologiques »*, poursuit-elle. Ces ornements ne seront relégués dans les marges qu'au XVII^e siècle… **LAUREEN BOUYSSOU**

La « pierre de soleil », boussole des Vikings par temps gris

Les Vikings se sont mis à la voile sur le tard : le plus ancien vestige d'un navire de ce type ne remonte qu'à l'an 815. Auparavant, ils se déplaçaient exclusivement… à la rame ! Mais quel que soit le mode de propulsion, leur technique de fabrication des coques n'a guère évolué : ils utilisaient des clins – des planches qui se chevauchent, fixées entre elles par des rivets de métal. Avec, probablement dès le IX^e siècle, l'invention d'une quille d'un seul tenant, dont la section présente la forme d'un T, ce qui permet d'y riveter la première planche. Une solution plus robuste qu'ailleurs en Europe où la quille, de section droite, porte une encoche pour encastrer la première planche.

Naviguer dans l'Atlantique Nord n'est pas chose aisée. Pourtant, les Vikings n'ont pas hésité à parcourir des milliers de kilomètres vers l'ouest depuis la Scandinavie. Par beau temps, il est possible qu'ils aient utilisé des compas solaires (cadrans solaires adaptés au repérage du Nord) afin de déterminer – et corriger – leur latitude. Mais comment faisaient-ils sous les nuages ? Une saga mentionne que, faute de ciel bleu, *« le roi prit la pierre de soleil et, la tenant au-dessus de lui, vit où le soleil brillait »*. La pierre de soleil ? Il pourrait s'agir de spath d'Islande, un cristal biréfringent (qui peut diviser en deux un rayon lumineux). Orienté correctement, il permet de déterminer la position du soleil, même caché. En 2023, un groupe de chercheurs hongrois a effectué des dizaines de milliers de simulations de voyages d'une durée de trois semaines entre la Norvège et le Groenland, jouant sur toutes sortes de paramètres (quatre méthodes de navigation, intervalle entre deux observations, date de départ, navigation nocturne ou non, etc.). Ils ont montré que la combinaison du compas solaire et d'un cristal biréfringent garantissait les meilleures chances de succès. Si un cristal de spath d'Islande a été retrouvé dans une épave britannique du XVI^e siècle, aucun n'a cependant pu être associé à un navire viking. Rien ne prouve donc que les hommes du Nord aient pu naviguer ainsi… mais rien ne s'y oppose ! **DENIS DELBECQ**

Florian Besson
Docteur en histoire médiévale

« La science est absente des fictions sur le Moyen Âge »

D'*Ivanhoé* à *Game of Thrones*, le discours sur la période médiévale perpétue – parfois à dessein – clichés et caricatures.

Comment se sont formées les représentations souvent inexactes que nous avons du Moyen Âge ?
Chaque siècle a pu investir des moments différents de cette longue période de temps. Les pièces de théâtre des XVI^e^ et XVII^e^ siècles ont par exemple exploré le haut Moyen Âge, en mettant en scène les Francs. Nos imaginaires collectifs actuels se nourrissent de deux représentations opposées qui se sont cristallisées plus tard, l'une au siècle des Lumières et l'autre avec le romantisme. Les philosophes du XVIII^e^ siècle ont construit du Moyen Âge une image noire reflétant leur combat contre certaines forces : une Église toute-puissante, associée à une royauté et une aristocratie en quête de gloire, exploitant le peuple. Les intellectuels – mais aussi les artistes – du XIX^e^ siècle ont quant à eux inventé un Moyen Âge doré, nourrissant la construction des nationalismes en cours. Ce Moyen Âge est celui des exploits chevaleresques contés dans les chansons de geste des XII^e^ et XIII^e^ siècles. Chacune de ces visions fait appel à des clichés. Pour la première, une espérance de vie très courte, une violence omniprésente. Et pour la seconde, magnifiée par des romans comme l'*Ivanhoé* de Walter Scott puis revisitée par Walt Disney, des femmes sauvées par un héros courageux…

La science a-t-elle une place dans ces visions stéréotypées ?
Elle n'en a que très peu, et ce n'est pas étonnant ! Le Moyen Âge noir des Lumières a été conçu comme une époque repoussoir justifiant le renouvellement des savoirs par les intellectuels du XVIII^e^ siècle. Dans ce Moyen Âge synonyme d'obscurantisme, l'Église a la mainmise sur un peuple ignorant qui croit que la Terre est plate. Ce mythe, créé par Voltaire, a la vie dure *(lire p. 28)*. De façon similaire, les romantiques du XIX^e^ siècle défendaient l'idée d'un progrès sociétal soutenu par la science et l'innovation. Son existence antérieure, au Moyen Âge, aurait bousculé les narratifs de l'époque. Le Moyen Âge doré est donc aussi un Moyen Âge sans science. On note toutefois quelques rares figures de grands intellectuels dans la littérature médiévaliste. Mais il s'agit à chaque fois de personnages de fiction.

L'un d'eux, Guillaume de Baskerville, est le héros du film *Le Nom de la rose*, tiré du livre éponyme d'Umberto Eco. Est-il crédible ?
Vaguement inspiré du philosophe anglais Guillaume d'Ockham, ce personnage représente bien ce qu'était un scientifique au XIV^e^ siècle. Pratiquant la *scientia* – l'art de la connaissance –, élève de Roger Bacon *(lire p. 29)* et philosophe éclairé, il lit et écrit le grec, le latin et l'arabe, observe les étoiles et connaît la médecine. Mais la construction du personnage sert avant tout le processus narratif : il s'agit de faciliter l'identification à ce Sherlock Holmes médiéval qui, muni de lunettes en verre taillé, se comporte de façon anachronique en libre-penseur éclairant le monde. Il dénonce ainsi les superstitions entourant un traité d'Aristote dédié à la comédie. Que retenons-nous du film ? Les dernières images le résument : le savoir se consume dans la bibliothèque en feu.

Une science médiévale ignorante… Ce regard est-il identique aujourd'hui ?
Dans des fictions encore récentes, oui. Dans *Game of Thrones*, par exemple, le personnage du mestre Samwel Tarly – érudit et médecin – apporte la connaissance de l'existence des marcheurs blancs. Mais il est totalement décrédibilisé par ses supérieurs qui, eux, passent pour des idiots aux yeux du public. Et dans les romans à succès de la Britannique Edith Pargeter, le héros, frère Cadfael, est certes valorisé par ses condisciples lorsqu'il utilise son savoir scientifique pour résoudre des énigmes policières. Mais il reste une figure d'exception. Le constat général est plutôt que la science est absente de la plupart des productions médiévalistes actuelles, films, jeux vidéo ou d'albums pour enfants. Leur intérêt est sans doute ailleurs.

PROPOS RECUEILLIS PAR CAROLINE DEPECKER

Florian Besson, *Actuel Moyen Âge I* et *II*, Arkhé, 2018 et 2019

Podcast
« Revoir Le Nom de la rose », Paroles d'histoire
https://sciav.fr/rose-PH

Blog
Actuel Moyen Âge
https://sciav.fr/actu-MA

YANN ETIENNE

DANS Les Echos DEPUIS 2010

L'ère de l'intelligence artificielle commence

TECH Quel sera le moteur de la croissance économique mondiale de la nouvelle décennie ? Il faut parier que les années 2010 seront celles où l'intelligence artificielle commencera à avoir un impact économique aussi important que l'émergence de l'Inde et de la Chine.

En 1996 et 1997, le champion mondial d'échecs, Gary Kasparov, a joué deux matchs contre un ordinateur. En 1996, le Deep Blue d'IBM a étonné le champion en gagnant la première partie. Mais Kasparov a rapidement adapté son jeu dans une stratégie à long terme, par laquelle son jugement et son intuition semblaient tromper le fonctionnement mécanique de l'ordinateur.

Malheureusement, le bien trop confiant Kasparov n'a pas su prendre Deep Blue suffisamment au sérieux lors de la rencontre de 1997. Deep Blue a traumatisé le champion en gagnant le match. De nombreux commentateurs avaient alors qualifié le triomphe de Deep Blue comme étant l'un des événements les plus importants du XXe siècle. Au cours des années qui ont suivi, même si les hommes ont beaucoup appris des ordinateurs, ces derniers ont toujours progressé à un rythme beaucoup plus rapide.

Les programmes d'ordinateur ont commencé à exploiter d'énormes bases de données de parties entre les Grands Maîtres (la plus haute distinction aux échecs). Il devint rapidement évident que même les meilleurs joueurs d'échecs humains auraient peu de chances de faire mieux qu'une partie nulle.

Aujourd'hui, les programmes de jeux d'échecs sont devenus si bons que même les Grands Maîtres ont parfois du mal à comprendre la logique derrière certains de leurs coups.

Pis encore, de nombreux logiciels disponibles sur le marché peuvent être programmés pour imiter le style des meilleurs Grands Maîtres à un point qui en est presque troublant. Ces programmes électroniques sont maintenant presque capables de passer le test d'intelligence artificielle du mathématicien britannique Alan Turing : un homme conversant avec une machine peut-il affirmer qu'elle n'est pas humaine ?

Je ne le peux pas, en tout cas. Ironiquement, alors que les triches électroniques commencent à se répandre dans les tournois d'échecs, l'outil de détection principal requiert l'utilisation d'un autre ordinateur. Seule une machine peut dire de manière constante le coup qui sera joué par un autre ordinateur. Si Turing était encore vivant, il définirait peut-être l'intelligence artificielle comme l'incapacité d'un ordinateur à dire si une autre machine est humaine !

Tout cela a-t-il mis les joueurs d'échecs au chômage ? La réponse, encourageante, est : « pas encore ». L'homme et la machine ont appris à coexister, du moins pour l'instant.

Bien sûr ceci n'est qu'un tout petit aperçu des changements plus importants auxquels nous pouvons nous attendre. Imaginez, un jour, nous pourrions même préférer des opérateurs digitaux aux humains.

Dans cinquante ans, les ordinateurs pourraient tout faire, conduire un taxi ou réaliser des opérations chirurgicales. Mais avant cela, les cursus d'études supérieures auront été transformés par l'intelligence artificielle, créant ainsi potentiellement une université mondiale largement accessible, même aux pays en développement les plus pauvres. Il y a, bien sûr, beaucoup d'autres utilisations plus terre à terre, mais cruciales, de l'intelligence artificielle, depuis la domotique jusqu'à la généralisation des « réseaux intelligents » pour la gestion et la distribution de l'eau et de l'électricité, qui permettront de diminuer le gaspillage par un meilleur contrôle.

En résumé, je ne partage pas l'avis de certains, assez nombreux, qui pensent qu'après l'Internet et l'ordinateur portable, il faudra attendre longtemps avant la prochaine innovation révolutionnaire. L'intelligence artificielle insufflera l'énergie nécessaire à la relance. On évitera un autre cycle de profondes crises financières qu'à la condition que les politiques ne se mêlent pas des nouveaux modèles de commerce, de technologie et d'intelligence artificielle. ■

Les Echos
Prenez un temps d'avance

RCS Paris 582 071 437 – © Getty Images / AdobeStock – HAVAS Paris

35 SCIENTIFIQUES PARTICIPENT À CE NUMÉRO

La Recherche

LE MAGAZINE DE RÉFÉRENCE SCIENTIFIQUE

Chez votre marchand de journaux

148 pages
MAGAZINE-LIVRE
Trimestriel